



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola Politècnica Superior d'Edificació
de Barcelona

MÁSTER UNIVERSITARIO EN CONSTRUCCIÓN AVANZADA EN LA EDIFICACIÓN

MÉTODO DE SIMULACION PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES SOLARES A TRAVÉS DEL BIM

Proyectista: Andrés Herrera Lizarazo

Directores: Inmaculada Rodríguez / Eloi Coloma

Convocatoria:

Contenido

Contenido	2
Índice de figuras	2
Glosario	3
Definiciones.....	4
1. Introducción	5
2. Objetivos	5
3. Marco conceptual.....	6
3.1 La energía solar fotovoltaica	7
3.2 La celda solar fotovoltaica.....	9
4. Marco normativo de energía fotovoltaica	10
5. Tipos y Componentes de la instalación fotovoltaica.....	12
5.1 Tipos de instalaciones Fotovoltaicas.....	12
5.1.1 Instalación fotovoltaica aislada	12
5.1.2 Instalación Fotovoltaica Conectada a Red:	13
5.2 Componentes de una instalación fotovoltaica de autoconsumo	13
6. El Building Information Modeling -BIM.....	15
7. Caso de estudio	17
8. Procedimiento de diseño	22
8.1 Aplicaciones específicas del manual	22
9. Conclusiones.....	29
Bibliografía	31
Anexo 1.....	38

Índice de figuras

Figura 1. Recurso solar disponible, potencia instalada por regiones, global y per cápita	7
Figura 2. Evolución anual de los MW instalados.....	9
Figura 3. Curva de una celda fotovoltaica.....	10
Figura 4 . Componentes de una instalación aislada	12
Figura 5. Componentes de una instalación fotovoltaica de autoconsumo.....	13
Figura 6. Componentes de un módulo o panel solar fotovoltaico.....	14
Figura 7. Building Information Modeling -BIM.....	16
Figura 8. Aplicaciones BIM	17
Figura 9. Perfil de Consumo en invierno	21
Figura 10. Perfil de Consumo en verano	21
Figura 11. Ubicación Google Maps Sabadell, Barcelona	23
Figura 12. Imagen importada a SketchUp.....	23
Figura 13. Estudio de Sombras.....	24
Figura 14. Google Maps Carrer de Roc Boronat, 135X, 08018 Barcelona	27
Figura 15. Resultados de la simulación LadyBug.....	28
Figura 16. Línea de referencia externa.....	28

Glosario

BIM	<i>Building Information Modeling</i> (por sus siglas en inglés):
CM	Centro de Medida
CT	Centro de Transformación
CEM	Condiciones estándar de medida
CGBT	Cuadro General de Baja Tensión
CTE	Célula de tecnología equivalente
FF	<i>Fill Factor</i> o Factor de Forma.
G	Irradiancia.
GEI	Gases de Efecto Invernadero
TONC	Temperatura de Operación Nominal de la Célula.
kWp	kilovatios pico.
PMP	Punto de máxima potencia.
RBTE	Reglamento Baja Tensión Español.
Vatios	(Watts) voltaje por corriente ($P=VI$)
HSP	Horas de Sol Pico.

Definiciones

Azimet Solar: Es el ángulo horizontal formado por la posición del Sol y la dirección del punto de observación.

BIM Building Information Modelling (BIM) es el uso de una representación digital compartida (modelo de información) de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, y proporcionar una base confiable para la toma de decisiones

Célula solar o fotovoltaica: Dispositivo electrónico que transforma la radiación solar en energía eléctrica generando energía solar fotovoltaica

Instalación fotovoltaica: sistema de dispositivos fotovoltaicos (celdas de acumulación solar), para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica. Se consideran una tecnología de generación eléctrica renovable.

Inversor fotovoltaico: Convertidor que transforma la energía de corriente continua en corriente alterna

Irradiancia: Es la energía de la luz solar. Magnitud de la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética, la cual se mide en W/m^2 (unidad de tiempo y unidad de superficie: vatios por metro cuadrado).

kWp La potencia pico es velocidad a la que genera energía al máximo rendimiento, por ejemplo, un panel o conjunto de paneles en las horas de máxima insolación. La calificación o medida de los sistemas de electricidad solar se describen en kilovatios pico.

Potencia nominal del generador: Suma de las potencias máximas de los módulos fotovoltaicos.

Potencia de la instalación fotovoltaica: Suma de la potencia nominal de los inversores (la especificada por el fabricante) que intervienen en las tres fases de la instalación en condiciones nominales de función.

1. Introducción

Las energías renovables constituyen hoy día uno de los temas centrales de la agenda internacional, siendo además para muchos países una estrategia de desarrollo fundamental. Por los beneficios que se han ido reconociendo, la energía solar, viene a ser una posible solución energética de gran valor, siendo los sistemas fotovoltaicos una alternativa de la mayor relevancia.

Las innovaciones sobre la energía solar han dado como resultado un cambio paradigmático con impactos ambientales, presupuestales, y de nuevas formas sostenibles de construcción, que conducen a una transformación de prácticas y de pensamiento sobre la potencialidad de su uso en distintos contextos con implicaciones sociales, económicas, ecológicas, y culturales.

Los acuerdos internacionales de París, COP21 de 2015, refuerzan los beneficios de energías limpias que contribuyan a reducir el efecto de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), al tiempo que se muestra como podría contribuir a disminuir el uso de insumos fósiles, y a ampliar masivamente la oferta de energía; además, creando nuevos mercados y cadenas de valor: empleo, materiales, conocimiento, productos, diseños, etc.

Los reglamentos o códigos de eco-construcción, plantean los ámbitos normativos y de uso de energías como las fotovoltaicas; sin embargo, y dada el avance tecnológico acelerado, los instrumentos de medición y la información requerida para hacer más preciso, eficiente, y eficaz este tipo de energía solar son cada vez más importantes. La valoración de sistemas de energías renovables, como la fotovoltaica, sin lugar a dudas significa una contribución a la reducción de emisiones de carbono CO₂ en la atmósfera, así como la transformación de prácticas que lleven a propuestas de edificación de tipo sostenible.

Por lo anterior, esta investigación de tesis de maestría se orienta a la personalización de un método para diseño y cálculo de sistemas de energía solar renovables mediante el uso de las herramientas *Building Information Modeling* (BIM), aplicado en dos diferentes casos de estudio: El primero corresponde a la etapa de anteproyecto cuyas diseño estaría en fase de maduración y el segundo aplicado en relación a las edificaciones existentes, con el fin de incentivar el uso y comprensión beneficios de dichas aplicaciones, para aquellos actores que participan en el proceso de diseño de proyectos edificatorios, que vinculen estas herramientas (BIM), promoviendo los criterios de diseño sostenible en los edificios.

2. Objetivos

Objetivo General:

Describir y proponer nuevos mecanismos de interpretación de la información para el dimensionamiento de instalaciones solares, con la ayuda de la herramienta BIM, que

pueden estar localizadas en cualquier parte del mundo, para optimizar los procesos de diseño sostenible y análisis energético de los edificios.

Objetivos Específicos:

- Analizar con pensamiento crítico la aplicación de conceptos determinantes que contribuyan a los modelos de sostenibilidad desde la disciplina de la arquitectura e ingeniería en la edificación, ampliando herramientas digitales en el proceso de diseños en la etapa de anteproyecto; así mismo, formular y proponer la instalación más eficiente para las edificaciones existentes en respuesta a las demandas energéticas de cada caso.
- Formular un método a manera de manual que permita el análisis las distintas variables y componentes que influyan en la optimización del diseño de instalaciones fotovoltaicas en los edificios.
- Describir y analizar herramientas digitales que pueden ser aplicables en la plataforma BIM para la valoración en los casos de estudio energéticos de los edificios (anteproyecto, y edificación existente).
- Analizar los procesos de aplicación BIM para dos escenarios: anteproyecto o Edificación existente.
- Formular recomendaciones y sugerencias sobre la presentación de la información procesada con la metodología BIM para proyectos de energía solar fotovoltaica, a partir de los resultados del manual, que puedan ser de fácil comprensión para actores interesados (clientes).

3. Marco conceptual

Las energías renovables o alternativas son energías que pueden considerarse inagotables, y que son capaces de transformar su insumo (sol, viento, agua) en electricidad, calor, entre otros, por medio de infraestructuras adecuadas para tal fin, por tanto, difieren de las energías convencionales por el origen de sus fuentes. Estas energías pueden ser: solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, biomasa, hidroeléctrica, entre otras.

Teniendo en cuenta el marco de esta investigación, se hace énfasis en la energía solar, la cual está clasificada en tres tipos: la energía solar pasiva, que no requiere ningún dispositivo intermedio, simplemente con la orientación y diseño de los edificios y las propiedades de los materiales de los mismos; la energía solar fotovoltaica, generada en los paneles solares para generar corriente eléctrica continua, como se detalla más adelante; y la energía solar térmica, a través del aprovechamiento de la radiación solar, mediante colectores solares, que aumentan la temperatura y energía interna de fluidos, como el agua.

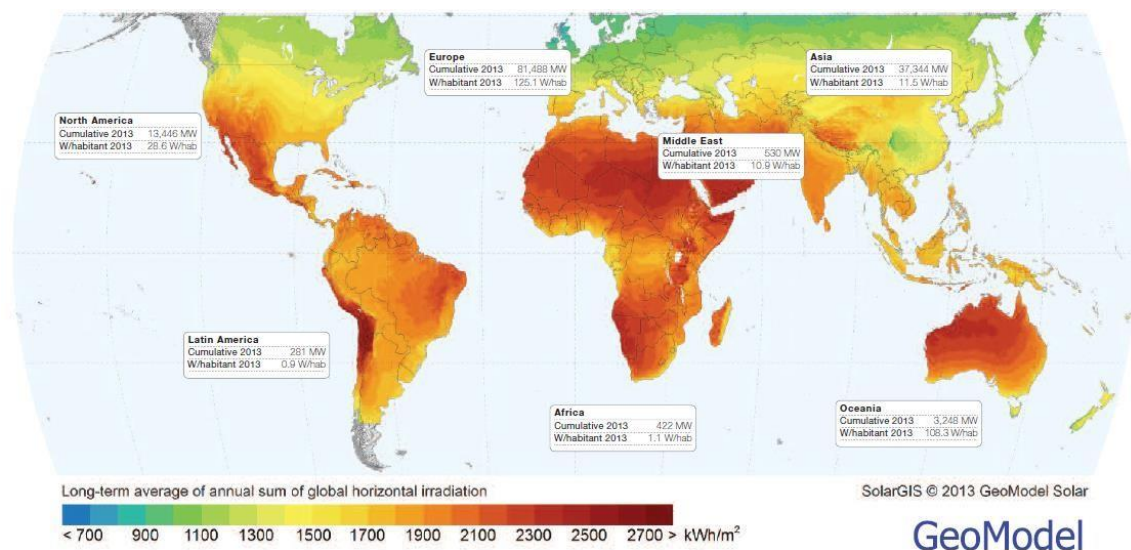
3.1 La energía solar fotovoltaica

El potencial de generación de electricidad proveniente de la energía solar es muy amplio, ya que la energía del sol resulta ser la fuente de mayor cantidad de energía del planeta. En la gráfica 1 se puede observar este fenómeno. La energía solar es fuente de energías renovables, como la energía solar térmica, y la electricidad a partir de las células fotovoltaicas, con lo cual se reduce la dependencia energética de las energías fósiles y convencionales, beneficiando el medio ambiente, la masificación de su uso con impactos sociales, y con nuevas formas de empleo y desarrollo económico.

“La Energía Solar Fotovoltaica es una tecnología que genera corriente continua (potencia medida en vatios o kilovatios) por medio de semiconductores cuando éstos son iluminados por un haz de fotones. Mientras la luz incide sobre una célula solar, que es el nombre dado al elemento fotovoltaico individual, se genera potencia eléctrica; cuando la luz se extingue, la electricidad desaparece” (Nuevas y Profesionales 2002).

Existen tres tipos de radiación Solar: 1. Radiación directa: llega directamente del Sol sin cambios al ingresar a la superficie terrestre. 2. Radiación difusa: Presenta obstáculos debido a la nubosidad, polución o partículas, montañas, construcciones, etc., y va en todas direcciones. 3. Radiación reflejada: Proviene de Sol y al chocar con la superficie terrestre esta la rebota o refleja¹.

Figura 1. Recurso solar disponible, potencia instalada por regiones, global y per cápita



Fuente: Instituto de Energía Solar, 2018²

¹ Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción. CONSTRUMATICA. En («Radiación Solar | Construpedia, enciclopedia construcción» 2019)

² Instituto de EnergíaSolar,UPM.Gráficos significativos energía solar, 2018

El llamado efecto fotovoltaico, consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica a través de dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas, en células elaboradas a base de materiales semi-conductores como el silicio puro (presente en la arena), boro y fósforo, -capaces de generar cada una corriente aproximada de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa-, introducidas en paneles solares. La energía captada, por un panel de células fotovoltaicas, dependerá principalmente de la localización, las condiciones meteorológicas, y de la orientación respecto de los rayos solares.

Desde 1839 con el aporte del Físico Becquerel que logró obtener una fotografía del espectro solar y descubrió el efecto fotovoltaico, se abre el camino a un campo que revolucionaría el conocimiento de la energía solar. Por su parte, la teoría de la célula solar, fue desarrollada en la década de los 60, incorporando los elementos de materiales, espectro de la radiación, temperatura, termodinámica y eficiencia. Los procesos de tecnología se fueron ampliando progresivamente, y con la crisis de los precios del petróleo, y los avances de movimientos y políticas ambientales, se dio paso a inversiones más aceleradas en energías renovables, en las distintas regiones del mundo. Durante la segunda mitad de los años 90 la producción creció una media del 33% anual y en el siglo XXI lo está haciendo al 40%³, introduciéndose la tecnología en los edificios antes de finales del siglo XX, y con ello ampliando las posibilidades de manera considerable.

De los 402 GW de fotovoltaica instalados en el mundo, China tiene la mayor participación con el 32%, Estados Unidos y Japón y Alemania entre el 10 y 13% cada uno, y tan solo el 1,4% en España⁴. Un punto importante que debemos destacar es que cada kWh generado con energía solar fotovoltaica evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente 1kg de CO₂, en el caso de comparar con generación eléctrica con carbón, o aproximadamente 0,4kg de CO₂ en el caso de comparar con generación eléctrica con gas natural. Esto es de gran ayuda para la reducción de emisiones que se propone en el Protocolo de Kioto citado anteriormente⁵.

Por otro lado, el coste de la energía fotovoltaica es cada vez más asequible, incluso, varios estudios indican que es tan competitiva como la hidráulica y eólica, y probablemente con la energía tradicional. El coste medio de la energía producida por grandes plantas fotovoltaicas es de 0,04- 0,07 €/kWh, y para plantas en tejado residencial el rango de precios es 0,10-0,27 €/kWh; sin embargo, solo cubre el 3,1% de la demanda eléctrica de España⁶.

³ Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. Energía Solar fotovoltaica, 2002

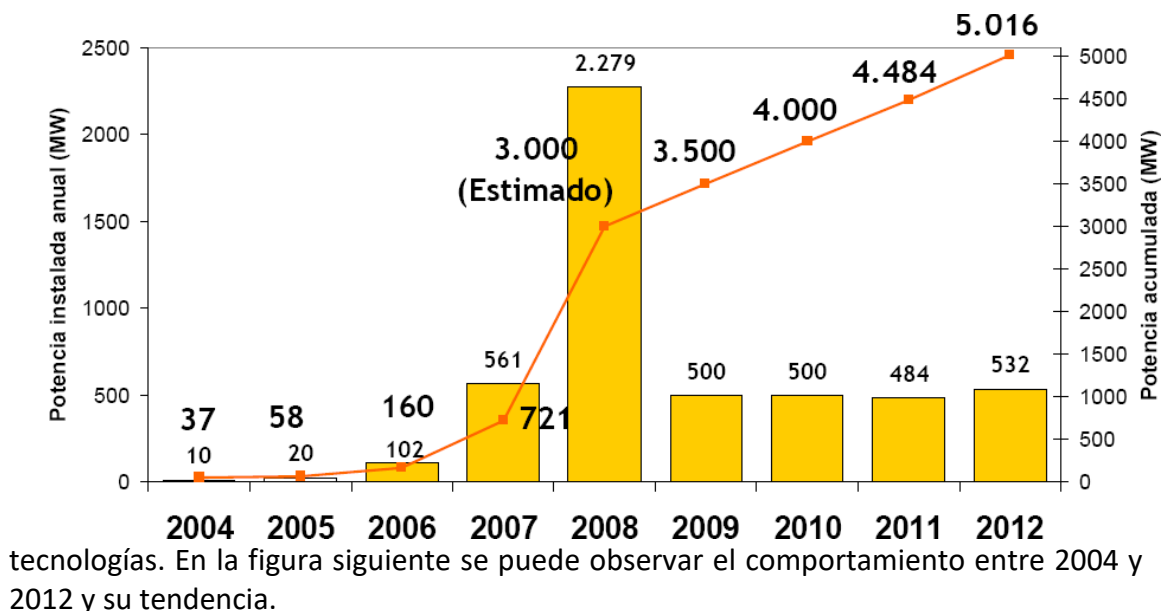
⁴ Instituto de Energía Solar, UPM. Gráficos significativos energía solar, 2018

⁵ Blanco Israel, Universidad Carlos III. Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial, 2011.

⁶ Instituto de Energía Solar, UPM. Gráficos significativos energía solar, 2018

Desde finales de la década de los 90, se permite en España la producción de energía a partir de luz solar, a cualquier interesado. Sin embargo, como se verá más adelante, la reglamentación ha cambiado para incentivar o regular la producción de este tipo de

Figura 2. Evolución anual de los MW instalados



Fuente: Ixtebe Portabella (2010)

3.2 La celda solar fotovoltaica.

Una celda solar en general tiene una superficie aproximada de 243 centímetros cuadrados y produce aproximadamente una potencia cercana a los 4 vatios (w), con una tensión de 0,5V y una intensidad entre 7 y 8 amperios. La conexión de varias celdas en serie conforma el "panel solar o módulo solar fotovoltaico"⁷.

El comportamiento y estructura de la celda solar tiene que ver con el silicio cristalino o arseniuro de galio, compuesto de un material semiconductor de electricidad y un metal fotoeléctrico, que al llegarle los fotones de la luz del sol, libera electrones de sus átomos, buscando la unión de átomos no metálicos que comparten electrones (conocidos como electrones de valencia), y que son llamados enlaces covalentes⁸.

La corriente y la tensión de trabajo de un dispositivo fotovoltaico dependen de la radiación solar incidente (irradiancia), la temperatura ambiente, y las características de la carga conectada al mismo.

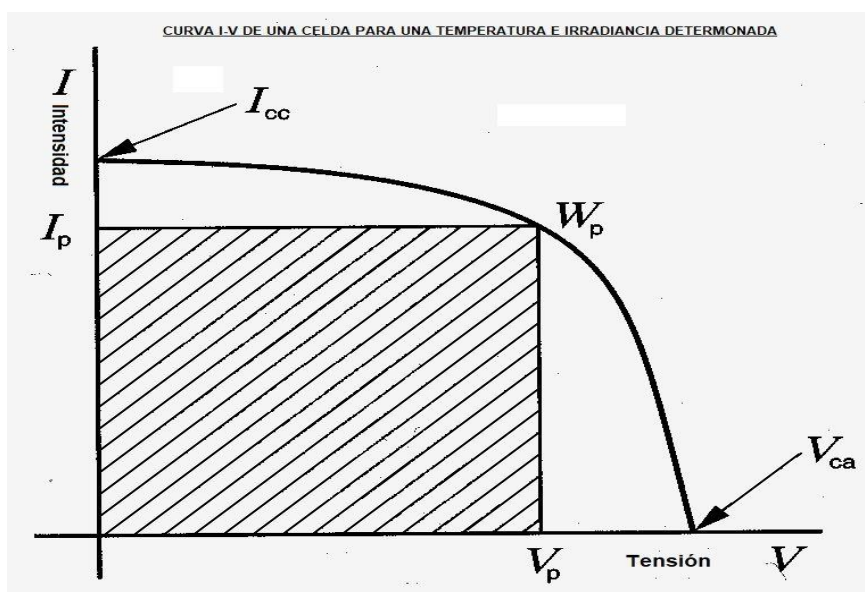
⁷ La mayor parte de los paneles solares o módulos solares fotovoltaicos poseen entre 36 y 96 celdas conectadas en serie. En TECNOLOGIA: («Temas de Tecnología | Tecnologías ESO» 2018).

⁸ Rodríguez, Ernesto. Paneles Solar. CIFP Tecnológico Industrial de León, España. En («Temas de Tecnología | Tecnologías ESO» 2018)

La curva de una célula o modulo fotovoltaico varía según cada irradiancia y temperatura, reflejando la potencia (la tensión por la corriente o intensidad); y está determinada por los siguientes parámetros, aceptadas internacionalmente como Condiciones Estándar de Medida (CEM) o *Standard Test Conditions* (STC)⁹:

- Intensidad de cortocircuito = I_{cc} (tensión cero), o I_{sc} .
- Tensión de circuito abierto = V_{ca} (intensidad cero) o V_{oc} .
- Intensidad en el punto de máxima potencia. I_{pm} o I_{mpp} .
- Tensión en el punto de máxima potencia. V_{pm} o V_{mpp} .
- Punto de máxima potencia. $W_p = I_{pm} \times V_{pm}$.

Figura 3. Curva de una celda fotovoltaica



Fuente: Rodríguez E, Paneles Solares

A su vez, el factor de forma (FF), es la relación entre la potencia máxima y el producto de I_{cc} y V_{ca} (su valor es más alto cuanto mejor es la célula). La potencia total del panel será la suma de las potencias de cada una de las celdas del panel.

4. Marco normativo de energía fotovoltaica

En España, el marco normativo ha venido en constante evolución, principalmente

⁹ Rodríguez, Ernesto. Paneles Solar. CIFP Tecnológico Industrial de León, España. En («Temas de Tecnología | Tecnologías ESO» 2018)

desde la década de los 80. Los desarrollos en esta materia comprenden reglamentos, códigos, leyes, Reales Decretos, entre otros¹⁰, los cuales han abordado aspectos como la regulación de la producción de energía eléctrica en régimen especial, las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica, la subasta de energía renovable, régimen de instalación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, el fomento del autoconsumo eléctrico, directivas de eficiencia energética y de rendimiento energético en edificios de la UE, Código Técnico de la Edificación, con referencia a la zonificación climática en función de la radiación solar, en gran medida políticas energéticas orientadoras de la investigación, producción, y mercado del sector fotovoltaico (algunas de las más importantes se encuentran en el Anexo 1).

Se considera de la mayor relevancia actual, el Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, que lleva “a medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores”. Es de anotar que el país contaba con el llamado "impuesto al sol", que implicaba el cobro de una tasa a todas aquellas instalaciones de más de 10kW, por toda energía autogenerada. Su derogatoria con este Real Decreto permite impulsar y mejorar la regulación sobre el autoconsumo (sin excedentes, o con excedentes).

Así mismo, determina el reconocimiento del derecho al autoconsumo compartido; el Registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica; y el de autoconsumo de energía eléctrica, siendo como ya se indicó una normativa de transición energética que relanzaría los distintos mecanismos relacionados, de energía renovable, generando además, mayor seguridad jurídica.

El proceso anterior se consolida con el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, “por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica”. En este se fortalece el autoconsumo colectivo (el cual no existía previamente) de comunidades de propietarios o aquel de polígonos industriales, que pueden asociarse a una misma planta de generación; aumenta la eficiencia administrativa al establecer un mecanismo simplificado de compensación de la energía autoproducida y no consumida.

Por otra parte, la definición del concepto de instalaciones próximas a efectos de autoconsumo, prevista como uno de los objetivos del RD, marca un cambio de dirección de la política, al permitir la utilización de instalaciones de generación situadas en la misma edificación o en otras localizadas en las proximidades (edificios contiguos que cuenten con mejor orientación, por ejemplo), con acuerdos previos entre las partes, y define los tipos de instalaciones que se pueden implementar.

Con relación a los excedentes, cambia también la obligatoriedad para el propietario de constituirse jurídicamente en productor de energía con las consecuentes exigencias normativas, administrativas y tributarias, permitiéndoles productores compensar la energía producida y no utilizada con aquella consumida de la red de distribución.

¹⁰ Ver: Unión Española Fotovoltaica, UNEF. En («Temas de Tecnología | Tecnologías ESO» 2018)

Finalmente, fija los aspectos de los contratos: de acceso, con la comercializadora, y los de servicios auxiliares, y lo relacionado con el Régimen Económico con Venta de Energía, o de con Compensación Simplificada, entre otros; impulsando una profunda reforma que llevara seguramente al impulso del sector eléctrico favoreciendo las energías renovables.

5. Tipos y Componentes de la instalación fotovoltaica

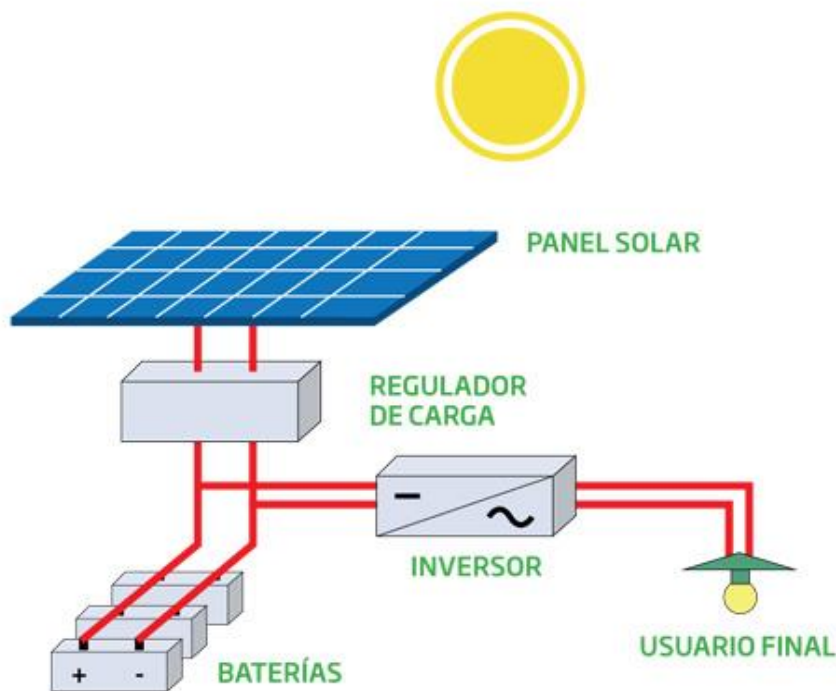
5.1 Tipos de instalaciones Fотовoltaicas

5.1.1 Instalación fotovoltaica aislada

Una instalación solar fotovoltaica aislada es un sistema de generación de corriente sin conexión a la red eléctrica que proporciona energía del sol. Requiere en general, el almacenamiento de la energía fotovoltaica en baterías. Son componentes: el modulo solar, el regulador de carga, la batería, el inversor y los soportes.

Aspectos a tener en cuenta en estas instalaciones: la potencia de conexión necesaria, el consumo de energía, el tiempo de uso, la localización y el clima. Son generalmente usados como alternativa de electricidad en zonas rurales.

Figura 4 . Componentes de una instalación aislada

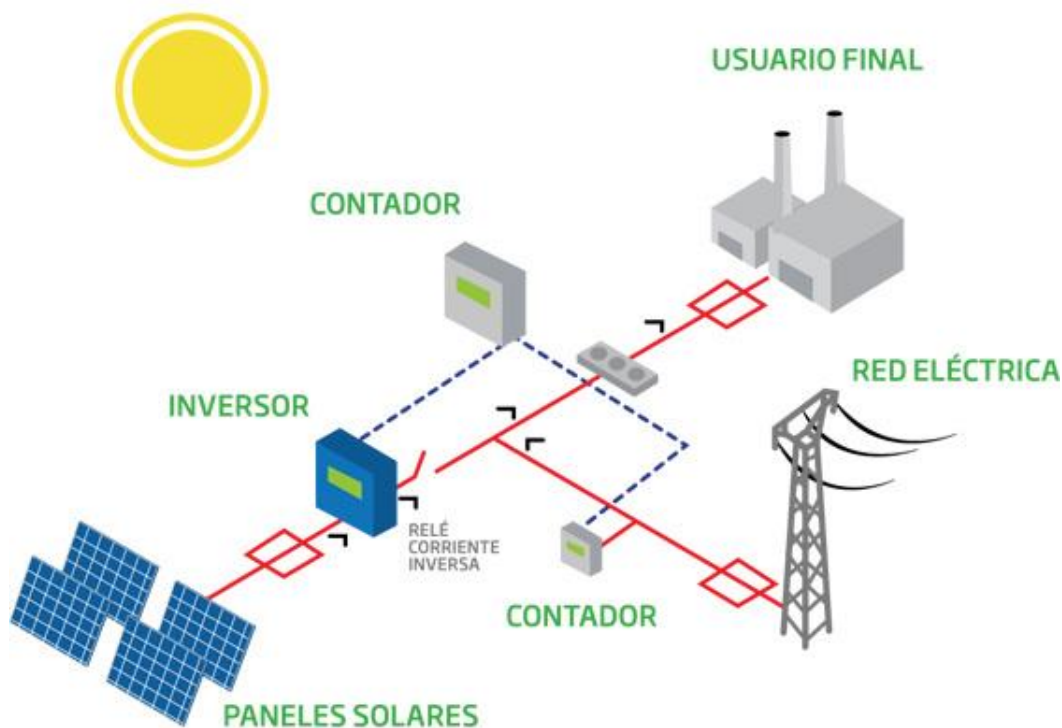


Fuente: («Sobre la Energía Solar - Energy Caribe Group» 2019)

5.1.2 Instalación Fotovoltaica Conectada a Red:

Estas instalaciones están conectadas a la red eléctrica, y tienen en cuenta la tensión de distribución y la energía reactiva a suministrar o a consumir para mantener el equilibrio de la red eléctrica¹¹.

Figura 5. Componentes de una instalación fotovoltaica de autoconsumo



Fuente: («Sobre la Energía Solar - Energy Caribe Group» 2019)

5.2 Componentes de una instalación fotovoltaica de autoconsumo

Una instalación fotovoltaica de autoconsumo está compuesta por:

- Generador fotovoltaico (modulo o panel)
- Estructura de soporte
- Cableado (conductores eléctricos)

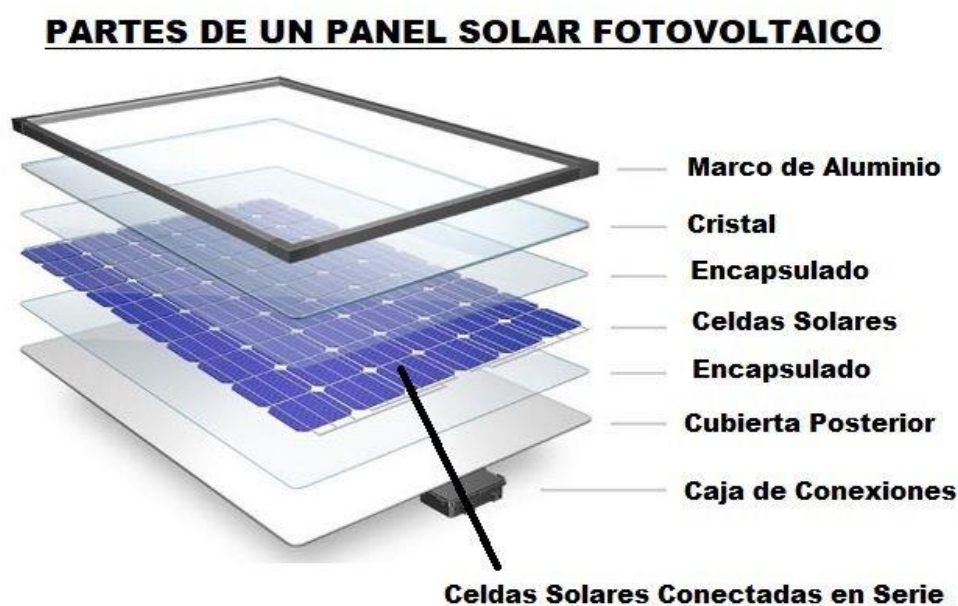
¹¹ Cuando el sistema fotovoltaico produce excedentes, éstos se vierten a la red. Sin embargo estos, no se denominan de autoconsumo fotovoltaico. (VOLODYMYR KOZIY, "Diseño de una instalación fotovoltaica conectada a red en Longreach, Australia, 2017).

- Inversor
- Contador de energía y protecciones de interconexión

Módulo solar o panel solar fotovoltaico

Como ya se indicó previamente, la célula solar es el componente principal, que transforma la energía solar proveniente de la radiación, en energía eléctrica: Formado por una colección de células o celdas fotovoltaicas compuestas por semiconductores como el silicio mono-cristalinos o poli-cristalinos.

Figura 6. Componentes de un módulo o panel solar fotovoltaico



Fuente: Fuente: Rodríguez E, Paneles Solares

Conectores:

Los conectores tienen la función de unir los cables de la instalación a los paneles. Tienen que ser estancos, con protección contra el agua y la humedad y también protegidos contra desconexiones accidentales. Los más utilizados son los TYCO y los MC3 o MC4¹².

Inversor

Transforman la corriente continua proveniente de los módulos fotovoltaicos en corriente alterna para su vertido a la red. Estos inversores no pueden funcionar si no existe otra red a la que se conecte, que bien puede ser la red pública.

¹² Rodríguez, Ernesto. Paneles Solar. CIFP Tecnológico Industrial de León, España. En («Temas de Tecnología | Tecnologías ESO» 2018)

Soportes

Este componente, mantiene en su lugar los módulos fotovoltaicos. Sus diseños están concebidos para resistir las condiciones atmosféricas entre estas la intemperie durante un largo período de tiempo.

Contador

Miden la energía auto producida. Los modernos contadores “inteligentes” son bidireccionales, miden tanto la energía demandada de la red eléctrica como el excedente vertido.

6. El Building Information Modeling -BIM

El BIM (*Building Information Modeling*), es el modelo compartido y colaborativo, que facilita la creación y gestión de un proyecto de construcción de edificación u obra civil, coordinando distintas disciplinas. Utiliza una potente base de datos que permite generar y gestionar distintos componentes del proyecto, apoyados en una maqueta digital en 3D, reduciendo conflictos, entre otros, por interferencias. El BIM permite crear modelaciones en respuesta a objetivos, facilitando diseños más eficientes, aumentando la calidad, y generando una importante reducción de tiempos, y costos, permitiendo mayores beneficios a los agentes que intervienen en la cadena de valor¹³.

BIM, facilita, la comprensión de datos climatológicos, como por ejemplo las horas del camino del sol y las sombras que se producen en aquellos espacios virtuales, que simulan un contexto real de un territorio, lo cual permite soportar decisiones sobre la orientación de un edificio, su diseño, disposición de la ventilación e iluminación natural, localización de protectores solares (módulos), entre otros, para un estudio energético meticuloso, que permita mejorar el rendimiento de aquellos sistemas que dependan de los factores externos climatológicos para transformar y suministrar energía al edificio («Temas de Tecnología | Tecnologías ESO» 2018).

Así mismo, el -ecosistema de software para BIM- permite la integración de programas informáticos, para el estudio energético de un edificio, entre ellos están: el *Revit*, *Archicad*¹⁰, *Allplan*, *Proengineer*, *SketchUp*, *Rhinoceros*, *Grasshopper* y *LadyBug*, *DesignBuilder*, *Energy*, *Plus DAYSIM* / *ECOTECH*, *Grasshopper*, *LADY BUG*, *Climate Consultant*, *Green Building Studio*, *Energy Simulator*, *Open Studio*, y *Eco Designer*, ampliando a modelos de representación 6D (Modelo geométrico 3D+sostenibilidad+descripción de elementos) que, en una segunda etapa correspondiente al diseño del edificio, se puede complementar otros softwares de dicho ecosistema que participen para hacer el (coste+tiempo de ejecución de obra) haciendo de este completando un proceso práctico e innovador.

¹³ Su importancia es tal, que es impulsado por el Ministerio de Fomento en España

La información y datos provenientes de BIM relativos a las edificaciones precisan los aspectos físicos, energéticos y espaciales funcionales, entre otros de los proyectos arquitectónicos o de infraestructuras que, mediante modelos 2D y 3D se pueden intervenir a través de un proceso de diseño colaborativo donde se pueden proyectar las diferentes fases de obra, desde la cimentación y estructura, hasta las instalaciones del edificio en un solo modelo.

El BIM considerado como el cambio tecnológico con mayor probabilidad de producir una transformación de envergadura en el sector de la construcción¹⁴, fue acogido en la Unión Europea desde 2014 para proyectos en donde hubiese recursos públicos a partir de 2016, y desde ese momento los esfuerzos se han encaminado a optimizar los procesos de construcción. Su importancia es tal, que es impulsado por el Ministerio de Fomento en España, y es utilizado en numerosas licitaciones públicas, promoviendo cada vez más la participación privada.

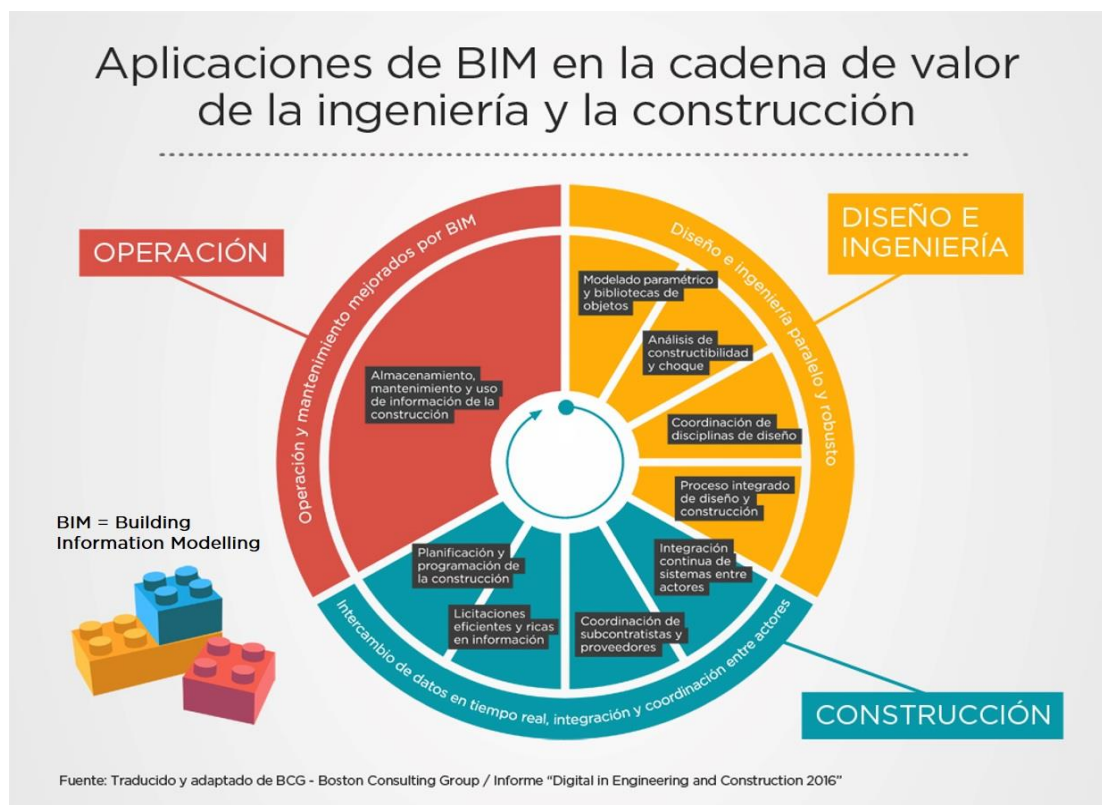
Figura 7. Building Information Modeling -BIM



Fuente: Ladrillo caravista Banco Añon 2018

¹⁴ EUROBIM. Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo, 2017.

Figura 8. Aplicaciones BIM



Fuente: BID. Ciencia Tecnología e Innovación¹⁵.

7. Caso de estudio

Se plantean dos casos de estudio para una instalación fotovoltaica de autoconsumo mediante el uso de BIM.

El primer escenario o caso de estudio, se centra en los edificios en etapa de anteproyecto, es decir, aquellos que están en la fase de maduración del diseño, lo cual permite ampliar los criterios sostenibilidad, con el fin de hacer una lectura que integre las instalaciones fotovoltaicas con la conceptualización del diseño arquitectónico del edificio.

¹⁵ Banco Interamericano de Desarrollo BID. Blog En («BIM, las tres letras de la construcción inteligente - Puntos sobre la i» 2019)

El segundo escenario se centra en las edificaciones existentes, en cuyo caso el edificio ya está construido; teniendo en cuenta que en cerca del 90%, su ubicación y orientación no es la más adecuada, ya sea por su diseño o morfología. Estas variables son determinantes para el óptimo rendimiento de la instalación fotovoltaica en función de la mejor captación de irradiación solar durante todo el año.

Como ya se mencionó, de las principales herramientas para la creación de BIMs (Building Information Models) de diseño arquitectónico se encuentra el *Revit*, *AutoCAD* y *ArchiCAD* entre otros, cuyos formatos de archivos permiten intercambiar la información de un programa (software) a otro de una manera rápida y sencilla. Esto facilita el proceso creativo para el diseño de un edificio eficiente, que se ajuste a las necesidades energéticas y ambientales de su contexto, como se detallará más adelante.

En ese orden de ideas, para el escenario dos, se deberá hacer un levantamiento 3D de la volumetría general del edificio, y un estudio para proponer la instalación fotovoltaica más pertinente según su realidad morfológica. Aun cuando no sería la más eficiente, el uso de la herramienta BIM permitiría hacer una simulación precisa, arrojando valores de la irradiación en una superficie determinada, expresada en Kwh/m^2 . El método para el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica mediante el uso de las herramientas BIM es aplicado, en cualquier caso, a una superficie determinada localizada en cualquier parte de la superficie terrestre, entendiendo que la incidencia de la irradiación solar varía según su posición geográfica, que puede ser observada en Sistemas de Información Geográficos (GIS).

Para hacer una valoración del dimensionamiento de una instalación fotovoltaica es preciso identificar aquellas variables que inciden en la toma de decisiones para una óptima solución.

En primer lugar, es preciso mencionar que la incidencia del sol en un territorio varía según el cambio de las estaciones a lo largo del año. El ángulo de irradiación solar tiende a ser más pronunciado en épocas de verano a diferencia del invierno en cuyo caso el ángulo es más cerrado. Este ángulo varía según la posición geográfica, y para ello existen distintas fuentes de información en donde se pueden encontrar estos valores. Algunos programas de simulación es Energy Plus, incluso La NASA tiene una base de datos con los registros de la irradiación solar de cualquier parte del mundo¹⁶, y del mismo modo, en Europa se ha desarrollado una *interface* para calcular la irradiación solar que funciona con un sistema de información geográfica GIS.

La captación de la irradiación sobre una superficie depende del grado de inclinación de esta en relación con la posición del sol, en tanto estas dos hagan una intersección en un ángulo de 90° la captación va a ser del 100%. Es de esta manera como el concepto “pico” (wp) es aplicado. Si asumimos que una superficie es un módulo (panel), este va a tener más rendimiento en tanto se encuentre lo más perpendicular posible al ángulo de irradiación solar. Como la incidencia solar varía a lo largo del año, se han

¹⁶ <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

desarrollado distintos prototipos de instalaciones fotovoltaicas inteligentes, en el que los módulos se van rotando según la posición del sol para garantizar una mejor captación en el transcurso de las horas de luz solar durante el día. No obstante, este sistema suele ser menos amortizable económicamente si se entiende como una inversión, por lo que es más común el uso de una instalación fotovoltaica estática, en cuyo caso se tendría que hacer un estudio correspondiente para encontrar la mejor orientación y por tanto, la ubicación óptima de los módulos para conseguir la mayor captación solar posible a lo largo del año.

Para la edificación existen distintos programas BIM en donde se puede dimensionar, diseñar y calcular instalaciones fotovoltaicas. Es importante entender que hay unas más especializadas que otras y algunas con un lenguaje de interpretación más sencillo que otros. Estos son algunos de los *softwares* más conocidos:

- *DesignBuilder (Simulación Energética de Edificios)*
- *Energy Plus (Programa de simulación de energía)*
- *DAYSIM / ECOTECH (Autodesk) para analizar datos de climatización*
- *Revit análisis irradiación (Programa de diseño 2D, 3D modeling)*
- *Grasshopper LADY BUG (Aplicación de análisis energético y ambiental, trabaja con Energy Plus)*
- *Sketch Up design (Programa de 3D modeling)*
- *Climate Consultant (Programa informático basado en gráficos para comprender el clima local)*
- *Green Building Studio*
- *Energy Simulator (simula y analiza de manera precisa los sistemas mecánicos contruidos, las condiciones ambientales y el rendimiento energético del objeto de estudio).*
- *Open Studio (herramienta para la modelización energética de todo el edificio usando Energyplus)*
- *Eco Designer (La función de evaluación energética incluida en ArchiCAD)*

El manual que se va a presentar más adelante, explica uno de los posibles métodos que se pueden implementar para el dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas. Previamente, es importante conocer el procedimiento según las variables que se presenten, para generar una simulación lo más aproximada a la realidad posible en un edificio. Para ello se tiene en cuenta:

- **La ubicación del edificio a analizar**

Un punto geográfico está determinado por coordenadas: latitud y longitud. Su ubicación permite conocer la incidencia del sol en un territorio determinado a lo largo del año. También es preciso identificar la elevación sobre el nivel 0.0, en este caso del mar. Al corroborar esos dos puntos de referencia se puede identificar el tipo de topografía y por tanto, la incidencia del sol en el edificio, ya que puede estar afectado por alguna sombra del mismo terreno. Estos casos pueden presentarse cuando un edificio está ubicado próximo a un terreno

inclinado, por ejemplo en un valle o en una meseta, en cuyo caso puede afectar la captación de irradiación sobre una superficie determinada del edificio, bien sea en fachada o cubierta.

- **Incidencia de sombras por el entorno**

La captación solar de la superficie de un edificio no solo puede estar afectada por su proximidad con una topografía compleja, como se mencionó anteriormente, sino que también aquellos elementos que hacen parte de su entorno inmediato; por ejemplo, edificios colindantes, árboles, postes, escapes de ventilación ubicados en la misma edificación, así como chimeneas, muros bajos, e incluso la propia modulación de los paneles, que al no estar ubicados a una distancia mínima prudente, pueden generar sombras entre sí y afectar el rendimiento de la instalación.

- **Angulo de inclinación modular**

El ángulo de inclinación de los paneles depende de la demanda energética que el edificio necesite, bien sea por el uso de sistemas de climatización, o por la puesta en marcha de equipos, electrodomésticos, etc. Si bien una instalación fotovoltaica no deja de funcionar durante todo el año, esta deberá estar diseñada y orientada conforme al perfil de consumo del edificio, con el fin de cubrir la mayor demanda de energía posible. Esto se puede traducir al consumo mensual facturado de un edificio. Si el estudio energético está aplicado en la etapa de anteproyecto, se calcularía la estimación del consumo de los equipos e iluminación que van a funcionar en el edificio existente, proporcionado por la red de energía local.

Figura 9. Perfil de Consumo en invierno

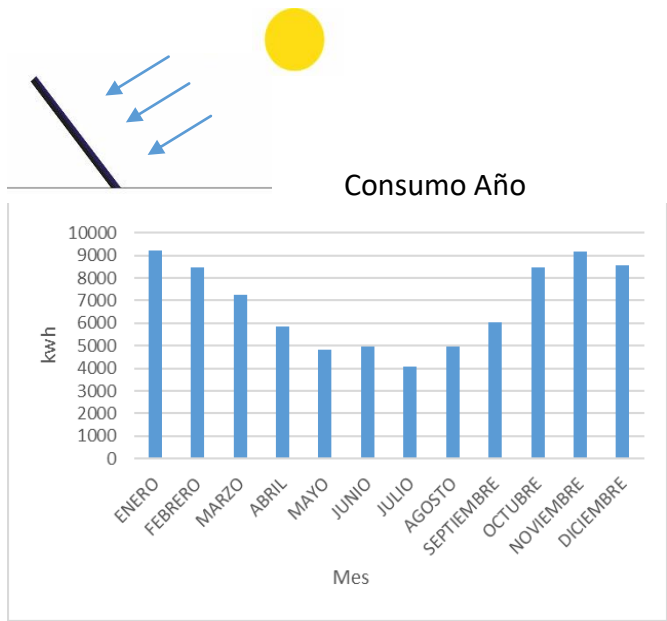
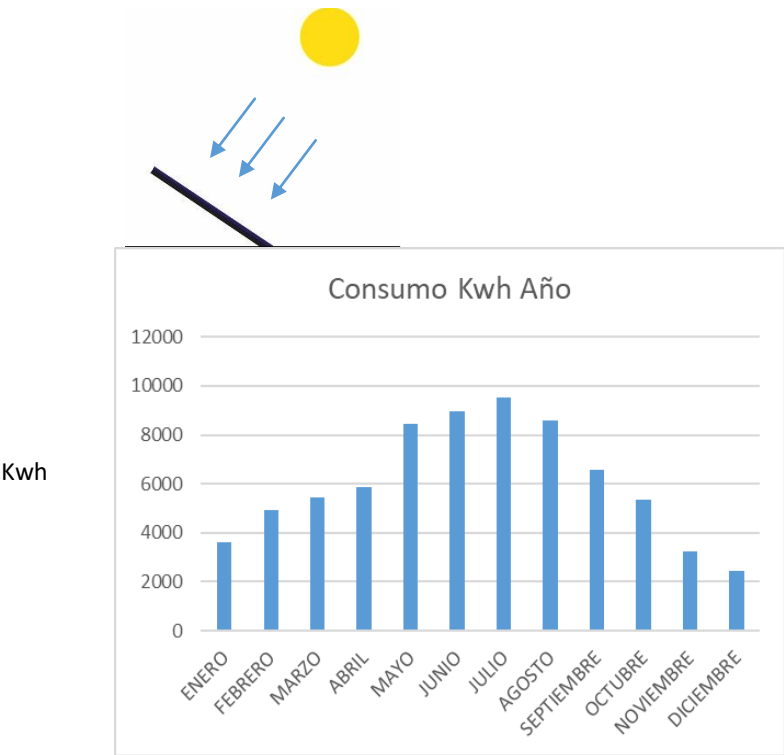


Figura 10. Perfil de Consumo en verano



Fuente: elaboración propia

En conclusión, el ángulo de inclinación modular depende de la posición del sol según las estaciones del año de cara a invierno o verano, en relación con la demanda consumida, a lo largo del año, por el edificio existente o en etapa de anteproyecto.

8. Procedimiento de diseño

En este acápite se describen las distintas aplicaciones correspondientes a cada *software* que pueden ser utilizados para el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica, aplicables a los dos casos de estudio mencionado anteriormente. (En la siguiente sección de este trabajo de investigación, se precisa el paso a paso del método propuesto en el manual).

8.1 Aplicaciones específicas del manual

Análisis de la topografía Aplicación en SketchUp



Google Sketch Up es un programa de representación de diseño 2D y modelado en 3D enfocado en el diseño arquitectónico; no obstante, se puede usar para fines de diseño industrial como objetos específicos, componentes, mobiliario, accesorios entre otros. Es un software con una *interface* amigable y fácil de usar; su potencial de uso se caracteriza principalmente por sus aplicaciones (*plug-in*) que simulan distintas variables en la que un modelo 3D pueda ser sometido, como el efecto de la gravedad, la incidencia del sol y su geolocalización en *Google Earth*, cuya base de datos permite medir distancias y áreas determinada de una sección de la superficie terrestre.

El primer paso para el estudio y posterior dimensionamiento de una instalación fotovoltaica es la ubicación. Para ello es indispensable localizar el proyecto sobre la superficie terrestre mediante un sistema de coordenadas. *SketchUp*, es un software desarrollado por la plataforma *google*, por lo que lo hace una herramienta precisa y eficaz para ubicar un punto específico en cualquier parte de la tierra, ya que incluye el mismo navegador que *Google Maps/Earth*, cuya base de datos precisa la realidad topográfica de dicha ubicación. Esto permite descartar la primera variable que pueda afectar un proyecto de estas características, y el registro posibilita identificar si la ubicación y topografía afectaría el aprovechamiento de la energía solar para dichos fines, mediante un estudio de sombra a lo largo del año.

En otras palabras, lo que empieza como la vista superior (*top view*) de una imagen, la aplicación de *Sketch Up* permite distorsionarla, simulando el mismo relieve de la topografía en la superficie terrestre que corresponda a una ubicación determinada¹⁷.

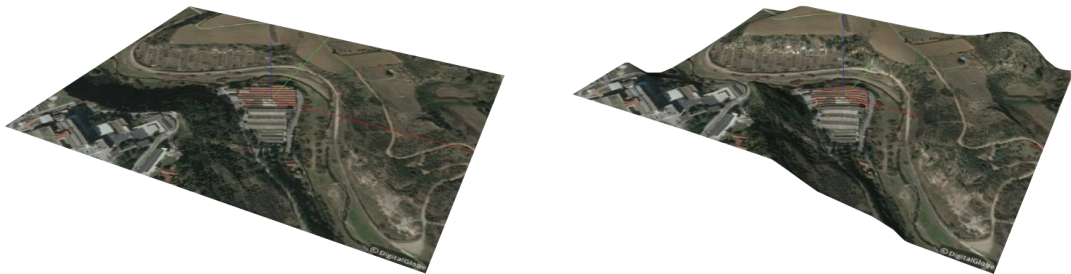
¹⁷ En («Software de diseño 3D | Modelado 3D en la web | SketchUp» 2019)
(«Google Earth» 2019b)

Figura 11. Ubicación Google Maps Sabadell, Barcelona



Fuente:(«Google Earth» 2019)

Figura 12. Imagen importada a SketchUp



Fuente: sKetchUp modeling

Estudio de sombras Aplicación en Rhinoceros¹⁸



Rhinoceros es un *software* de diseño vectorial en CAD 2D y 3D, en el que se pueden crear diversas formas, desde las más básicas, a partir de dos puntos o más, así como la creación de curvas, sólidas y mallas, que permiten modelar superficies y geometrías orgánicas más complejas. Otras opciones que ofrece el programa son las de documentación, animación y renderizado, que permiten llegar a un alcance de

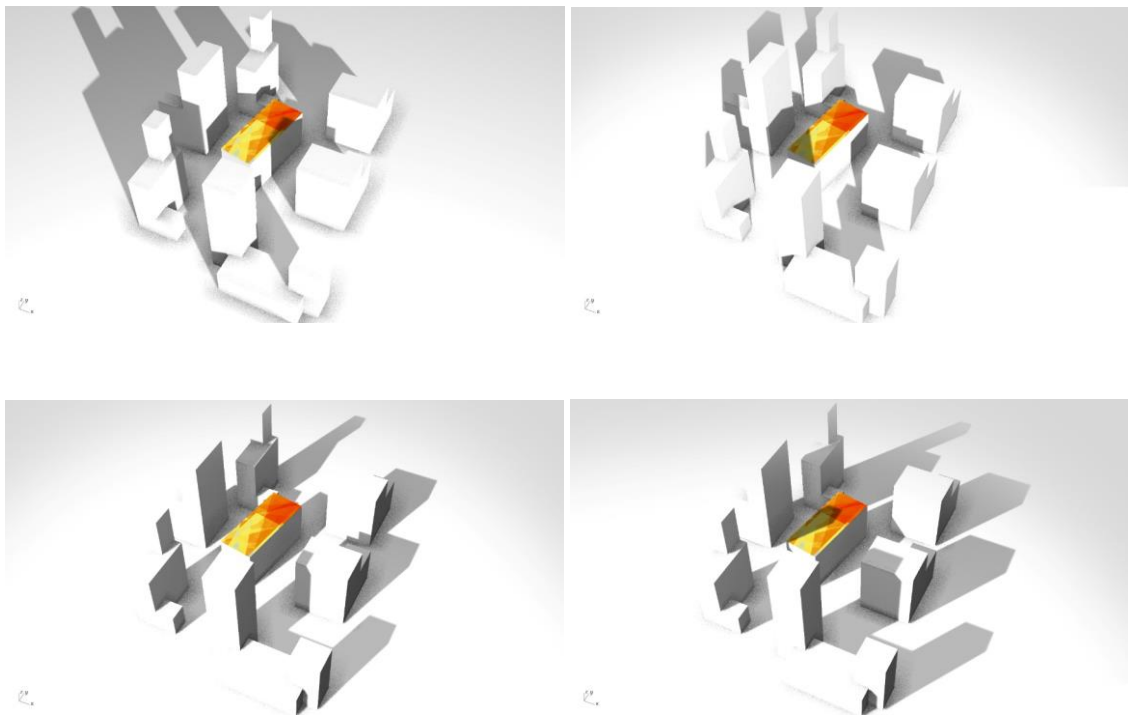
¹⁸ _ («Rhino 6 para Windows y Mac» 2019)

expresión gráfica profesional tanto para proyectos de diseño industrial como arquitectónico.

A diferencia de los programas de diseño más básicos *Rhinoceros* cuenta con una interface predeterminada, que funciona mediante el uso de funciones iconográficas y/o comandos. Su mesa de dibujo está compuesta por un plano cartesiano que permite diseñar en cuatro principales vistas: una superior, dos laterales, y la cuarta en la que se proyecta el modelo en 3D que se esté realizando. Estas se pueden personalizar dependiendo de las necesidades para cada proyecto.

El segundo paso es el proceso de dimensionamiento de una instalación fotovoltaica. *Rhinoceros* es un programa que ofrece la aplicación necesaria para diseñar un proyecto de estas características. En el punto anterior, se menciona que el uso del programa *SketchUp* facilita la ubicación del proyecto y su realidad topográfica para entender la incidencia del sol sobre ese territorio. Al hacer el levantamiento en 3D de un proyecto y su contexto, se puede identificar que no solo la topografía sino los edificios más próximos, así como algunos otros elementos -como árboles, portes o incluso elementos propios del edificio como salidas de ductos o chimeneas-, pueden intervenir con el óptimo rendimiento de una instalación fotovoltaica. Dichas variables son aplicadas para cualquiera de los dos casos de estudio, ya sea en etapa de anteproyecto como de edificación existente. Una vez se ha realizado el levantamiento y posterior diseño del proyecto terminado, se hace uso de las facultades de la aplicación *Render Tools* de *Rhinoceros* en la que se puede hacer un estudio avanzado de sombras, mediante la implementación de una simulación animada que proyecta el asoleamiento que incide directamente sobre el proyecto.

Figura 13. Estudio de Sombras



Fuente: elaboración propia

Diseño Paramétrico Aplicación en *Grasshopper*

Grasshopper es un editor gráfico de algoritmos que hace parte de las aplicaciones (*plugin*) de *Rhinoceros*. Su interface de diseño funciona mediante un lenguaje de programación personalizado, que permite desarrollar diseños parametrizados. “Dicho esto, se trata de un recurso innovador que se consigue a través de una técnica avanzada de diseño digital para obtener un modelo paramétrico”¹⁹. De esta manera dichos parámetros se operan y controlan para definir y caracterizar una geometría específica, que a su vez pueden estar determinados por una altura, longitud y anchura, formadas a partir de puntos en el eje X.Y.Z, entre muchas otras opciones.

Estudio Energético Aplicación en *LadyBug*

LadyBug es una de las muchas aplicaciones de *Grasshopper*, que “permite realizar un análisis detallado de los datos climáticos para producir visualizaciones interactivas y personalizadas para un diseño con información ambiental”. *LadyBug* usa la base de datos GIS de *EnergyPlus* que a su vez es un programa completo que hace posible realizar un análisis energético, mediante simulaciones aplicadas a los edificios, con el fin de extraer datos de consumo energético, que sirven como criterios de diseño para la implementación de sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación natural e iluminación, a fines de un diseño bioclimático de orden sostenible.

Poco se ha investigado de las muchas posibilidades de uso de *LadyBug* como herramienta de parámetros aplicados al diseño de instalaciones fotovoltaicas en los edificios. El margen de uso, sin embargo, es muy amplio, y su facilidad para intercambiar información con programas de análisis de modelados lo hacen una aplicación muy competente.

Grasshopper LadyBug es la herramienta que, a través del diseño paramétrico proporciona aquellos análisis de resultados cuantitativos y cualitativos, que permiten realizar el diseño de una instalación fotovoltaica con el mejor rendimiento que sea posible, para el suministro de energía fotovoltaica a manera de energía eléctrica, para tratar de suplir la mayor cantidad de demanda de consumo del edificio.

En la etapa de anteproyecto, la implementación del diseño bioclimático también tendría que justificar una composición que se comprometa con la integración de sistemas de energía solar, como un parámetro más de sostenibilidad en el edificio.

LadyBug es la herramienta indicada para ello, ya que con la opción *OrientationStudyPar* se pueden obtener aquellos resultados que indican la incidencia del sol a manera de irradiación directa o difusa en unidades de (kwh/m2) sobre una superficie determinada. El código programado, utiliza el mejor valor como un indicador que en su caso, ejecuta la orden para que el módulo fotovoltaico modelado, rote sobre

¹⁹ («Diseño paramétrico - El diseño del futuro que combina matemáticas y arte» 2018)

su propio eje, para garantizar la mayor captación de irradiación concentrada sobre su superficie en un rango de tiempo. Esta acción puede ser evidenciada en la vista 3D del modelo, en cuyo caso el resultado más óptimo ubica al módulo fotovoltaico en la mejor posición de captación posible, que a su vez sirve como una referencia externa para el correspondiente diseño de la superficie portante de dicha instalación, entendida como la cubierta o fachada de un edificio.²⁰

Diseño personalizado *Aplicación en Revit.*

Revit es conocido como un programa que permite personalizar modelos de información para el diseño paramétrico 2D/3D, así como el presupuesto y ejecución de obra de objetos inteligentes, en este caso de un edificio. Es un *software* desarrollado por la plataforma de *Autodesk* que hace parte de la red de información BIM.

Una de las cualidades que tiene *Revit* es la opción de diseñar elementos llamados “familias dinámicas”, que se pueden programar con parámetros que determinen su dimensión, materialidad y coste. También se le puede insertar información técnica a una familia de un producto o accesorio, que sea parte de la composición del edificio, como por ejemplo, ventanas, puertas, mobiliario e instalaciones.

Un módulo fotovoltaico se puede diseñar como una familia dinámica, especificando sus propiedades técnicas tanto cualitativas como cuantitativas; esta información puede ser configurable conforme al modelo específico del producto.

Revit tiene la posibilidad de conectarse mediante la plataforma BIM con otros programas de simulación y modelado que presenten otro formato. También cuenta con distintos *plugins* y aplicaciones, que hacen y que permiten abrir programas específicos desde su propia interface como lo es *Dynamo*: un programa especializado de *scripts* visuales que permite crear algoritmos personalizados a fin de procesar datos y generar geometrías, siendo este uno de los más avanzados en programación visual y parametrización de modelos 3D, recogiendo y procesando información de otros programas compatibles de BIM, como *Rhinoceros*, *Grashopper*, *AutoCAD* e incluso *Excel* (entre otros). En otras palabras, es un *software* que funciona con una interface independiente para el diseño de modelos paramétricos, mediante elementos visuales de programación llamados (nodos), y a su vez es un *software* que sirve como un “*bridge*” o puente entre distintas plataformas de distintos formatos, con la capacidad de leer y procesar información en las dos direcciones, trabajando un modelo en simultáneo con otros programas a la vez.

Existen maneras más simples para compartir archivos de otros programas que sean compatibles con *Revit*, solo que no son visualizaciones editables desde su interface debido a su formato. Sin embargo, un proyecto de una instalación fotovoltaica que sea

²⁰ («Herramientas de mariposa | Página de inicio» 2018)
 («EnergyPlus | EnergyPlus» 2017)
 («Building Energy Modeling with EnergyPlus and Ladybug Tools (Grasshopper for Rhino): a practical case study» 2018)

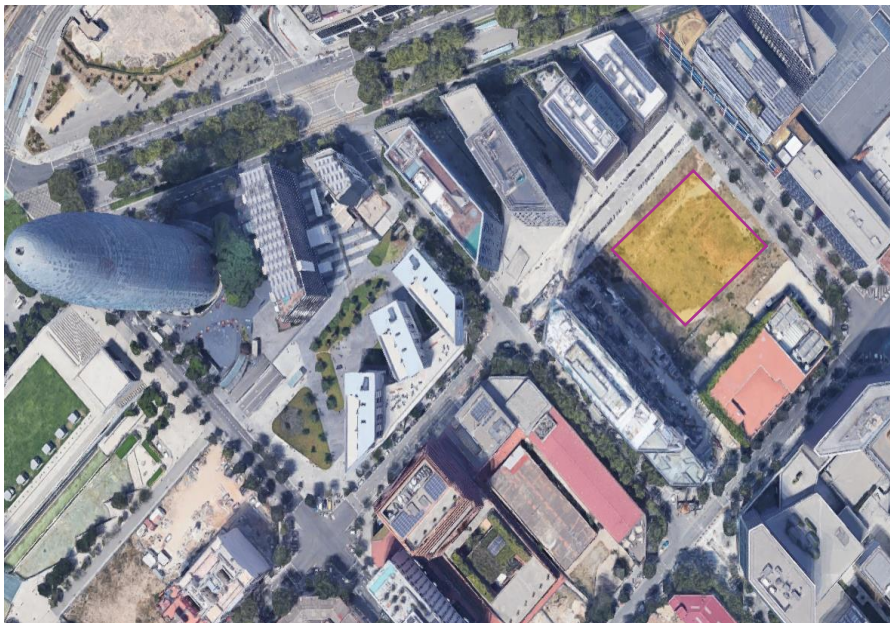
diseñado desde *Rhinoceros/Grasshopper* puede abrirse en *Revit* directamente, sin la necesidad de un *bridge*, en cuyo caso, su lectura sería como el de una referencia externa (x-ref), que sirve como guía para ser calcada y personalizada de manera cualitativa como cuantitativa.

Este es un ejemplo de lo que se puede hacer con el resultado final del dimensionamiento de una instalación fotovoltaica finalizado por *LadyBug* cuyo resultado final sirva como un X-Ref para ser usado como vectores guías en *Revit*²¹:

(EL alcance del manual no incluye este último proceso, pero se precisa con el fin de describir el último paso, antes de realizar el diseño final detallado de una instalación fotovoltaica)

Simulación energética

Figura 14. Google Maps Carrer de Roc Boronat, 135X, 08018 Barcelona

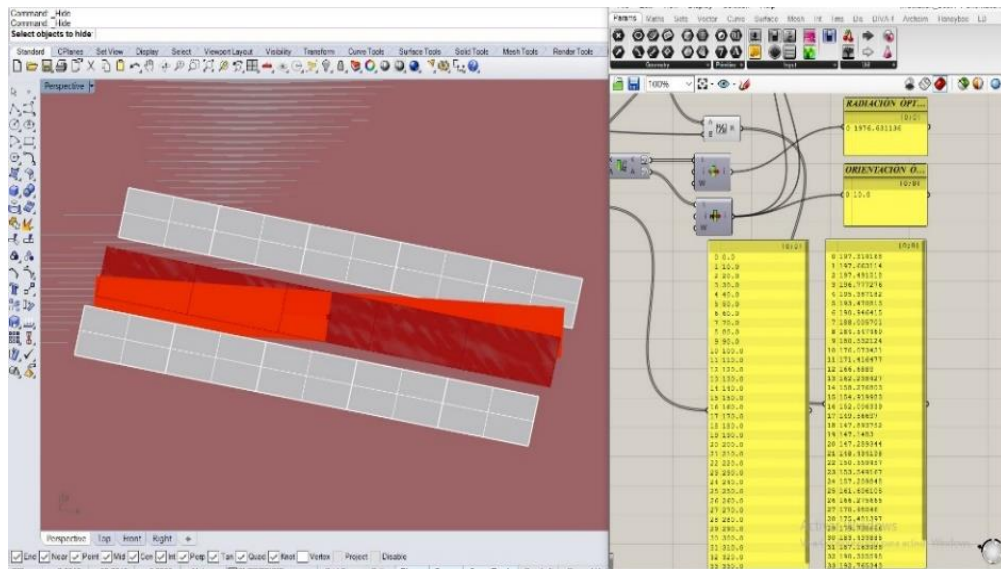


Fuente: <https://www.google.es/maps/>

LadyBug simularía la incidencia de la energía solar sobre la superficie de una instalación fotovoltaica que estuviese ubicada en un lugar determinado de la ciudad de Barcelona.

²¹ MEP content, the BIM library for mep engineers 2019
(«¿Qué es el Código CUPS? Por qué lo Necesito y Dónde Encontrarlo»
2018)

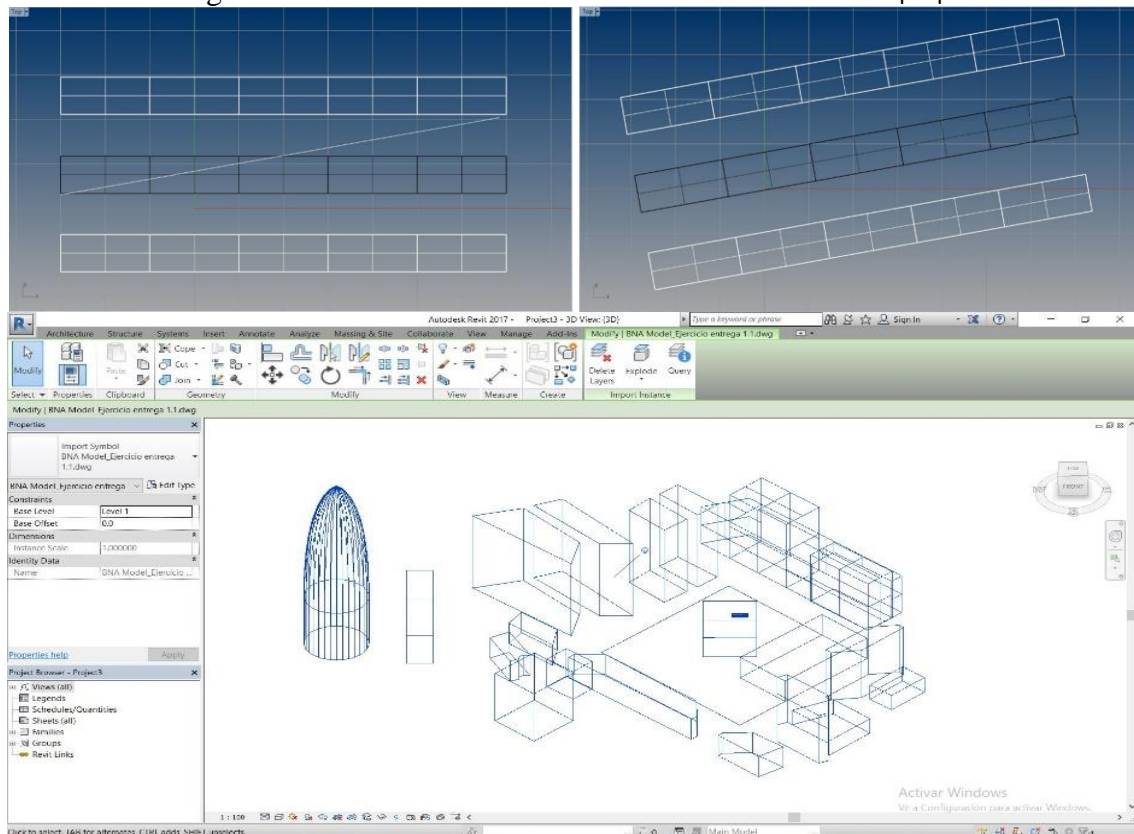
Figura 15. Resultados de la simulación LadyBug



Fuente: elaboración propia

El resultado de la simulación arrojaría los valores (kwh/m2) necesarios para hacer el estudio energético de un edificio suministrado por energía fotovoltaica, ubicado en ese lugar. En Revit el modelo previamente actualizado sirve como una referencia externa (x-ref) que será calcada y posteriormente incluida en un diseño de proyecto. Este mismo proceso cuenta con el mismo principio para el caso de un edificio existente.

Figura 16. Línea de referencia externa Fuente: elaboración propia



9. Conclusiones

En esta investigación se relacionaron dos principales estudios en el área de la informática y la ingeniería, cuyo principal objetivo era hacer un análisis energético para el dimensionamiento y posterior diseño de instalaciones fotovoltaicas aplicadas a los edificios, como una estrategia de sostenibilidad aplicada en la construcción. Si bien sabemos que el sector de las energías renovables cada vez es más importante, los estudios de esta tecnología están en constante avance, con el principal propósito de perfeccionar los productos para garantizar una mayor eficiencia, y generar menos contaminación, en respuesta a una de las más grandes crisis energéticas y ambientales de la actualidad.

Así mismo, la tecnología ha sido un recurso determinante, para el avance en el estudio y perfeccionamiento de métodos de análisis, que vinculan aquellas determinantes físico-ambientales implicadas en el proceso de diseño de instalaciones fotovoltaicas, para su mayor potencial de rendimiento, con el fin de suplir la demanda de consumo energético de los edificios.

Dicho esto, existen diversas estrategias de análisis para la comprensión del entorno y de aquellas variables ambientales a las que se somete un edificio. Estos parámetros son indispensables para el diseño de una instalación fotovoltaica óptima. No obstante, algunas estrategias tienen un mayor alcance de actuación que otras. *Building Information Modelin* (BIM) es el ejemplo de una estrategia que vincula aquellas herramientas especializadas, en las que se aplican una serie de parámetros que dan como resultado unos indicadores, que permiten hacer simulaciones más aproximadas a la realidad. Esta plataforma sirve como una red de intercambio de información, en la que se procesan diferentes datos que, al ser analizados arrojan los resultados necesarios para el dimensionamiento y posterior diseño de una instalación fotovoltaica para un edificio determinado. El principal valor añadido que tiene esta plataforma es la facilidad de uso, debido a su innovador lenguaje de programación que se especializa en el diseño paramétrico. Esto parámetros son añadidos en los modelos de 3D que, a su vez, son interpretados por los softwares para mostrar los resultados necesaria para el estudio energético de un edificio.

Existen diferentes programas que pueden ser usados para el estudio y diseño de una Instalación Fotovoltaica. Programas como *Rhinoceros* y *SketchUp* permiten hacer un estudio de sombra, con simulaciones y animaciones visuales en 3D que proyectan mapas de temperatura que arrojan valores de la irradiación solar sobre el área de una superficie determinada. Esta captación de energía, puede estar interferida por algunos elementos existentes de su entorno, como edificios contiguos, postes árboles, el propio edificio, o incluso la misa topografía del terreno podrían afectar el rendimiento de la instalación si no se tienen en cuenta para la valoración del estudio. *LadyBug* es una aplicación de *Grasshopper* especializada en procesar dicha información arrojando resultados excepcionales, que se pueden programar para que el propio *software* manipule el modelo 3D y optimice el diseño. De modo que dichos resultados, puedan ser aplicados a casos particulares de análisis de irradiación directa o difusa que pueda captar la superficie de un módulo fotovoltaico, cuyos parámetros pueden estar

igualmente programados para que este rote sobre su propio eje, con el fin de escoger la mejor posición promediada, con el fin de garantizar el mayor rendimiento posible de la instalación de un edificio, en cualquier parte del mundo. Este método a simple vista hace una diferencia sustancial, para entender de manera práctica y sencilla casos de la vida real en el sector de la ingeniería la construcción.

Por último, es importante aclarar que para hacer un estudio energético para el diseño de una instalación fotovoltaica en un edificio, se requiere de más de un programa para analizarlo debido a su complejidad. No existe un programa que pueda cubrir absolutamente todas las demandas de análisis que se requiere para dicho estudio, por lo cual la plataforma BIM es la mejor opción, ya que proporciona un método fácil e innovador para entender y analizar dicha información.

Bibliografía

- ADIL AHMED, 2014. Autodesk Ecotect Analysis Basic Tutorial - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=_ZH3KccqS2Y&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=16.
- AdvDig Week 05-1 Ladybug Basic Setup, Radiation Analysis - YouTube. *Lee-Su Huang* [en línea], 2016. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=xS8uzJOz-4g&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=31>.
- ANGLÉS, R., GONZÁLEZ, A., MOSCOSO, G. y VEGA, C., 2008. Energías Renovables en Colombia. *SER- Escuela de Negocios* [en línea], pp. 59-65. Disponible en: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:36266/componente36265.pdf.
- ARGENTINA, M.D.E., 2015. Tutorial De Sketch Up. *Plan Integral de Educación Digital* [en línea], pp. 1-35. Disponible en: <http://www.tallertecno.com/sketchup/Tutorial-Sketchup-8.pdf>.
- ATENENT, L.E., NORMATIVA, L.A., AMBIENTALS, I. y SOCIALS, E.I., 2016. TESI DOCTORAL 2016 MODEL DE SIMULACIÓ PER L' OPTIMITZACIÓ EN. ,
- Azimutal y Altura del Sol usando SUN SURVEYOR. - YouTube. *Vladi Mir* [en línea], 2014. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=nVlhOna5dMc&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=40>.
- BIM, las tres letras de la construcción inteligente - Puntos sobre la i. [en línea], 2017. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/innovacion/es/bim-transformacion-digital-en-la-construccion/>.
- BIM, las tres letras de la construcción inteligente - Puntos sobre la i. [en línea], 2019. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/innovacion/es/bim-transformacion-digital-en-la-construccion/>.
- BLANCO Israel, (2011): "Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industria". Universidad Carlos III.
- Building Energy Modeling with EnergyPlus and Ladybug Tools (Grasshopper for Rhino): a practical case study. , 2018. pp. 3363.
- CÁLCULO y dimensionado de una instalación FOTOVOLTAICA AISLADA ? [CURSO ENERGÍA SOLAR] - YouTube. *Quetzal Ingeniería* [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ufgqTH7NJvg&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=19>.
- CASALS, M.R. y GARRETA, J.C., 2013. Energia Solar Tèrmica. [en línea], vol. 2, pp. 1-5. Disponible en: http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/10/07_fuentes-de-energ3ada_energ3ada-solar.pdf.
- COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN, (2002). "Energía Solar fotovoltaica".

Como calcular el número de paneles solares para una casa / Parte II - YouTube. *Electricidad y Matemáticas* [en línea], 2017. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=KtKhQOJVuke&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=6>.

Como calcular las pérdidas en los paneles solares – Energía Solar Fotovoltaica - YouTube. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=DZuapzMAcyw&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=3&t=97s>.

Como calcular las pérdidas en los paneles solares – Energía Solar Fotovoltaica - YouTube. *Electricidad y Matemáticas* [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=DZuapzMAcyw&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=3&t=99s>.

Como empezar a usar Revit - Crear un proyecto | CursoRevit.com. [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://cursorevit.com/como-usar-revit/>.

Conexión de paneles solares en serie-paralelo - YouTube. *Auto Solar Energy SLU* [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=44Kxi80_PKA&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=11.

CREAR UN MAPA CON CURVAS DE NIVEL A PARTIR DE UNA IMPORTACIÓN DE GOOGLE MAPS - YouTube. *lootarchy* [en línea], 2016. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=twSOhEroLuc&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=23>.

Design Builder Rhino/Grasshopper Solar PV Optimization - YouTube. *Dr. O'Karaguzel* [en línea], 2017. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=B1ev-wCUMp8&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=32>.

Diseño paramétrico - El diseño del futuro que combina matemáticas y arte. [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.luisan.net/blog/dise-no-grafico/dise-no-parametrico>.

DIVA Grasshopper 07 PV - YouTube. *Info Solemma* [en línea], 2016. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=1BUrj14B_a0&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=30.

Energía Solar fotovoltaica BIM · Arquitectos y constructores - YouTube. *EcoEnergías* [en línea], 2017. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=abvJq1TTHS8&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=5&t=0s>.

EnergyPlus | EnergyPlus. [en línea], 2017. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://energyplus.net/>.

Familias para Revit - Sistema de Aquecimiento Solar - YouTube. *Alessandro Calvalho De Olivia* [en línea], 2016. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=bdbKkdz2JNg&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=8>.

- FAMILIAS PARA REVIT (DESCARGAR/INSTALAR) - YouTube. *CadLego* [en línea], 2017. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Lpltn4f0Qt4&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=33>.
- Funciones de programas BIM | Revit 2020 | Autodesk. [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.autodesk.es/products/revit/features>.
- Grasshopper & Ladybug - Radiation Analysis 1 - YouTube. *Paramarch* [en línea], 2016. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Uh9I38grBVQ&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=25>.
- GERMÁN CAMPOS, 2011. DesignBuilder Simulación Energética de Edificios - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=wRESbBc5cA&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=9>.
- Google Earth. [en línea], 2019a. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.google.com/intl/es/earth/>.
- Google Earth. [en línea], 2019b. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.google.es/earth/download/thanks.html#os=windows%23version=pro%23update=yes>.
- Google Maps. [en línea], 2017. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.google.es/maps/preview>.
- Herramientas de mariquita | Página de inicio. [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.ladybug.tools/>.
- Herramientas fotovoltaicas - saltamontes. [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.grasshopper3d.com/group/ladybug/forum/topics/photovoltaic-tools>.
- INSTITUTO DE ENERGIA SOLAR, 2018. Gráficos significativos energía solar fotovoltaica. [en línea], pp. 61. Disponible en: http://www.ies.upm.es/sfs/IES/IES-UPM/Portada/2018_PV_España.pdf.
- Ladybug Grasshopper Tutorial - YouTube. *Parametric House* [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=XaNSy9-LEpc&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=27>.
- LUIS CARLOS GALÁN, 2018a. 1. CÁLCULO SISTEMA SOLAR AISLADO || COMPONENTES Y CONSUMO ENERGÉTICO - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=dIRXvtz4-Dc&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=2&t=139s>.
- LUIS CARLOS GALÁN, 2018b. 2. CÁLCULO SISTEMA SOLAR AISLADO || IRRADIACIÓN SOLAR Y H.S.P. - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=WoL-6yl3cis&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=18>.
- LUIS CARLOS GALÁN, [sin fecha]. 1. CÁLCULO SISTEMA SOLAR AISLADO || COMPONENTES Y CONSUMO ENERGÉTICO - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=dIRXvtz4-Dc&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=2&t=139s>.

LUIS FERNANDO ESPINOZA CASTILLO, 2014a. Video 1 de 3 del Uso del Energy Plus - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=V_sDIXO5exY&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=15.

LUIS FERNANDO ESPINOZA CASTILLO, 2014b. Video 2 de 3 del Uso del Energy Plus - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=O-OrE6TXP7Y&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=12>.

LUIS FERNANDO ESPINOZA CASTILLO, 2016. Climate Consultate y Autodesk Ecotect Analysis - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=eZTXM4uiJ4&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=13>.

MEMORIA, T.I., 2010. PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA. ,

MIGUEL NOCHE, 2019. Nueva Ley Energía Solar España. Por Fin!!!! - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=1jlQoTR6q5g&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=35>.

NAVIGATION, S. y ROUTE, N.S., 2018. Hanergy thin film power group. . S.l.:

NUEVAS, G. De y PROFESIONALES, A., 2002. *Energía_Solar_Fotovoltaica_2E5C69a6 (1)* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9788493504960. Disponible en: http://www.coitaoc.org/files/estudios/energia_solar_fotovoltaica_2e5c69a6.pdf.

Online Tools for Solar PV System Design:PART 1, NREL PVWatts Calculator - YouTube. *SolarVoltaicWorld* [en línea], 2017. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=zBWvXcUanbl&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=37>.

Orientación óptima de los paneles fotovoltaicos - YouTube. *uvigo* [en línea], 2015. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=WS7JVxrgk7k&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=24>.

OSCAR GARCIA, 2017. Como instalar sistema de paneles solares con baterías INDEPENDIENTE SIN CFE | TUTORIAL SENCILLO - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=W6lIG1Xcqlw&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=7>.

Paneles Solares. [en línea], 2016. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>.

Placas SOLARES : todo lo que necesitas saber - YouTube. *Pon un ingeniero en tu vida* [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=mJAjJCwbJw&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=38>.

PORRAS PIEDRA, LUISA SORIANO, F.M., 2017. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.

PORTABELLA Ixtete, (2010): "Proceso de creación de una planta solar fotovoltaica conectada a red". Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. Proyecto Final de Carrera de Ingeniería Electrónica.

- PVWatts, PVGYS reports (Skelion tutorial) - YouTube. *SkelionSolar* [en línea], 2015. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=mwpOXABqWmc&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTsIzB9ERUmOC&index=29>.
- Qué es DYNAMO en BIM - Noticias Spin Ingenieros. [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <http://spiningenieros.com/actualidad-bim/que-es-dynamo-en-bim/>.
- ¿Qué es el Código CUPS? Por qué lo Necesito y Dónde Encontrarlo. [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://tarifasgasluz.com/faq/cups>.
- ¿Qué es Revit y para qué sirve? [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://esdimas.com/que-es-revit-y-para-que-sirve/>.
- Radiación difusa sobre un panel solar inclinado / Curso de Energía Solar Fotovoltaica / Video 17 - YouTube. *Electricidad y Matemáticas* [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=H1gIVp5v6yE&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTsIzB9ERUmOC&index=20>.
- Radiación Solar | Construpedia, enciclopedia construcción. [en línea], 2019. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: https://www.construmatica.com/construpedia/Radiación_Solar.
- Resumen Real Decreto 244/2019 Autoconsumo Fotovoltaico (Balance Neto) - YouTube. *CambioEnergetico.com* [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=xwFibt8fiy8&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTsIzB9ERUmOC&index=34>.
- Revit: Panel Solar (Cristalera Inclínada, caso práctico) - YouTube. *Bibliocad* [en línea], 2015. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=pTOLskdA8H4&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTsIzB9ERUmOC&index=4&t=17s>.
- Revit | Programas BIM | Autodesk. [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.autodesk.es/products/revit/overview>.
- Revit como hacer y exportar un estudio solar - YouTube. *Escola:Total* [en línea], 2011. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=LLCziWSHvVs&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTsIzB9ERUmOC&index=10>.
- Rhino 6 para Windows y Mac. [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.rhino3d.com/>.
- ROSENZWEIG, C., HORTON, R.M., BADER, D.A., BROWN, M.E., DEYOUNG, R., DOMINGUEZ, O., FELLOWS, M., FRIEDL, L., GRAHAM, W., HALL, C., HIGUCHI, S., IRACI, L., JEDLOVEC, G., KAYE, J., LOEWENSTEIN, M., MACE, T., MILESI, C., PATZERT, W., STACKHOUSE, P.W. y TOUFECTIS, K., 2014. Enhancing Climate Resilience at NASA Centers: A Collaboration between Science and Stewardship. *Bulletin of the American Meteorological Society* [en línea], vol. 95, no. 9, pp. 1351-1363. [Consulta: 11 junio 2019]. ISSN 0003-0007. DOI 10.1175/BAMS-D-12-00169.1. Disponible en: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-12-00169.1>.
- Scan and import a terrain from Google Earth - YouTube. *voxelrhinoceros3d* [en línea], 2013. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en:

<https://www.youtube.com/watch?v=VI5EEDfmHO4&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=22>.

Sobre la Energía Solar - Energy Caribe Group. [en línea], 2019. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://www.energycaribegroup.com/sobre-energia-solar/>.

Software de diseño 3D | Modelado 3D en la web | SketchUp. [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.sketchup.com/es>.

Solar news : especializada en el sector de la energía solar. [en línea], 2005. S.I.: Grupo Acorde Comunicación. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://www.solarnews.es/2017/04/12/bim-la-mejora-en-proyectos-de-eficiencia-energetica/>.

Solar Radiation Analysis in Revit Tutorial - YouTube. *Balkan Architect* [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=HKzXY9CZJWo&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=28>.

TEDESCHI, A., 2014. *AAD Algorithms-Aided Design : Parametric Strategies Using Grasshopper / Arturo Tedeschi ; Foreword: Fulvio Wirz* [en línea]. LE PENSEUR. S.I.: PARAMETRIC STRATEGIES USING GRASSHOPPER®. ISBN 9788895315300. Disponible en: http://encore.fama.us.es/iii/encore/record/C__Rb2649316__Sgrasshopper__Orightresult__U?lang=spi&suite=cobalt.

Temas de Tecnología | Tecnologías ESO. [en línea], 2018. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/>.

Tensión, Corriente y Potencia eléctrica - YouTube. *El Blog de Joselu* [en línea], 2015. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=7rlnZ_CY4uQ&list=PLULj84XWwyBKCYSuJyrGN9Br_g6kFS6VW&index=2&t=84s.

TIMO MARQUEZ, 2014. Uso DAYSIM / ECOTECT Español - YouTube. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=M3LnSO-5Gv4&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=14>.

Tutoriales y manuales Revit 2019 – Índice Tutoriales. [en línea], 2018. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <http://www.formacionprofesional.info/tutoriales-y-manuales-revit-2019/>.

[TUTORIAL]: Cálculo de una instalación fotovoltaica - YouTube. *Zigurat Global Institute of Technology* [en línea], 2015. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ChBmoPUnMhl&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=5>.

Tutorial Ecotect Analysis - Radiación solar - YouTube. *Arqui Bolivia* [en línea], 2014. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=SMnYYbYADYs&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=26>.

Using the Ecotect Weather Tool to Analyze Climate Data - YouTube. *Autodesk Sustainability Workshop* [en línea], 2012. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=KGe--kKGBBI&list=PLULj84XWwyBJxVHKRgJrRTslzB9ERUmOC&index=17>.

zonaClic - Español. [en línea], 2019. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en:

<https://clic.xtec.cat/legacy/es/index.html>.

KOZIY Volodymyr, (2017): “Diseño de una instalación fotovoltaica conectada a red en Longreach, Australia, Universidad de Valencia.

Anexo 1

“Referentes normativos sobre paneles fotovoltaicos en España”²²

- La Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, establece los principios de un nuevo modelo de funcionamiento basado en la libre competencia, impulsando también el desarrollo de instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*.
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de Diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión (BOE 235-2000 de 30/09/2000). Describe los requisitos técnicos de conexión a red que debe cumplir un SFCR, principalmente en lo relativo a las condiciones de seguridad.
- La Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, establece los principios de un nuevo modelo de funcionamiento basado en la libre competencia, impulsando también el desarrollo de instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Describe los requisitos técnicos de conexión a red que un SFCR debe cumplir.
- Principalmente hace referencia a los sistemas de seguridad (para personas, para equipos y para mantenimiento de la calidad de red).
- Resolución del 31/05/2001, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen el modelo de contrato tipo y el modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión, publicado el 21/06/2001. Fija el contrato-tipo que debe ser firmado por el usuario de SFCR y la compañía eléctrica a la que se conecta el sistema y la factura resultante (en este caso será FECSA-ENDESA).
- Resolución del Ministerio de Economía del 21/05/2001, BOE del 21/06/2001.
- Decreto 352/2001, de 18 de diciembre, sobre procedimiento administrativo aplicable a las instalaciones de energía solar fotovoltaica conectadas a la red eléctrica. DOGC3544-02/01/2002.
- Normativa de la compañía FECSA-ENDESA
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Solares Fotovoltaicas Conectadas a la Red, IDAE.
- Reglamento de seguridad e Higiene en el trabajo (L31/95).
- Real Decreto 2818/98 (Anexo I), de 13 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración.
- Real Decreto 2224/98, de 16 de octubre, por lo que se establece el certificado de

²² Portabella Ixnete, Proceso de creación de una planta solar fotovoltaica conectada a red, UPC, 2010

profesionalidad de la ocupación de instalador de sistemas fotovoltaicos y eólicos de pequeña potencia.

- Ley 30/1992, y sus normas de desarrollo:
- UNE-EN 61173:98 "Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos productores de energía. Guía".
- UNE-EN 61727:96 "Sistemas fotovoltaicos. Características de la interfaz de conexión a la red eléctrica".
- PNE-EN 50330-1 "Convertidores fotovoltaicos de semiconductores. Parte 1: Interfaz de protección interactivo libre de fallo de compañías eléctricas para convertidores conmutados FV-red. Calificación de diseño y aprobación de tipo". (BOE 11/05/99). PNEEN 50331-1 "Sistemas fotovoltaicos en edificios. Parte 1: Requisitos de seguridad"
- PNE-EN 61227. "Sistemas fotovoltaicos terrestres generadores de potencia. Generalidades y guía".
- Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión, aprobado por Decreto 3.151/1968 de 28-11-68, y publicado en el B.O.E. del 27-12-68.
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación y las Instrucciones Técnicas
- Complementarias aprobadas por Decreto 12.224/1984, y publicado en el B.O.E. 1-8-84.
- Reglamento de Puntos de Medida, aprobado por el Real Decreto 2018/1997, de 26 de Diciembre y modificado por el Real Decreto 385/2002 del 26 de Abril.
- Instrucciones Técnicas Complementarias al Reglamento de Puntos de Medida aprobadas por la Orden de 12 de Abril de 1999.
- DIN VDE 0675, parte 6, la cual detalla las características de las diferentes zonas de protección de sobretensiones.
- IEC 616143-11, EN 616143 que clasifica las protecciones de sobretensión en tipo 1 (vastos o Clase B en VDE o Clase 1 en IEC), tipo 2 (medias Clase C – VDE o Clase II en IEC) y tipo 3 (finas o clase D en VDE, clase III en IEC).
- NBE-AE-88, *Norma Básica de Edificación* que recoge las Acciones en la edificación, de obligado cumplimiento sobre territorio español sean cuales sean las características y finalidad de la construcción.
- Normativas del Ministerio de Vivienda, MV-102 sobre "Acero laminado para estructuras de edificación" y MV-103 sobre el "Cálculo de las estructuras de acero laminado en la edificación".
- Normas y recomendaciones de diseño del edificio del Centro de Transformación:
- CEI 61330 UNE-EN 61330. Centros de Transformación prefabricados.
- RU 1303ª. Centros de Transformación prefabricados de hormigón.
- NBE-X. Normas básicas de la edificación.
- Normas y recomendaciones de diseño de aparamenta eléctrica del Centro de transformación: CEI 60694 UNE-EN 60694. Estipulaciones comunes para las normas de aparamenta de Alta Tensión.
- CEI 61000-4-X UNE-EN 61000-4-X. Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida.
- CEI 60298 UNE-EN 60298. Aparamenta bajo envolvente metálica para corriente alterna de tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores o iguales a 52 kV.
- CEI 60129 UNE-EN 60129. Seccionadores y seccionadores de puesta a tierra de corriente alterna.

- RU 6407B. Aparatación prefabricada bajo envolvente metálica con dieléctrico de Hexafluoruro de Azufre SF₆ para Centros de Transformación de hasta 36 kV.
- CEI 60265-1 UNE-EN 60265-1. Interruptores de Alta Tensión. Parte 1: Interruptores de Alta Tensión para tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores a 52 kV.
- Normas y recomendaciones de diseño de transformadores: CEI 60076- X UNE-EN 60076-X. Transformadores de potencia. UNE 20101-X-X. Transformadores de potencia.
- Normas y recomendaciones de diseño de transformadores (aceite): RU 5201D.
- Transformadores trifásicos sumergidos en aceite para distribución en Baja Tensión.
- UNE 21428-X-X. Transformadores trifásicos sumergidos en aceite para distribución en BT de 50 kVA A 2 500 kVA, 50 Hz, con tensión más elevada para el material de hasta 36 kV.”



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

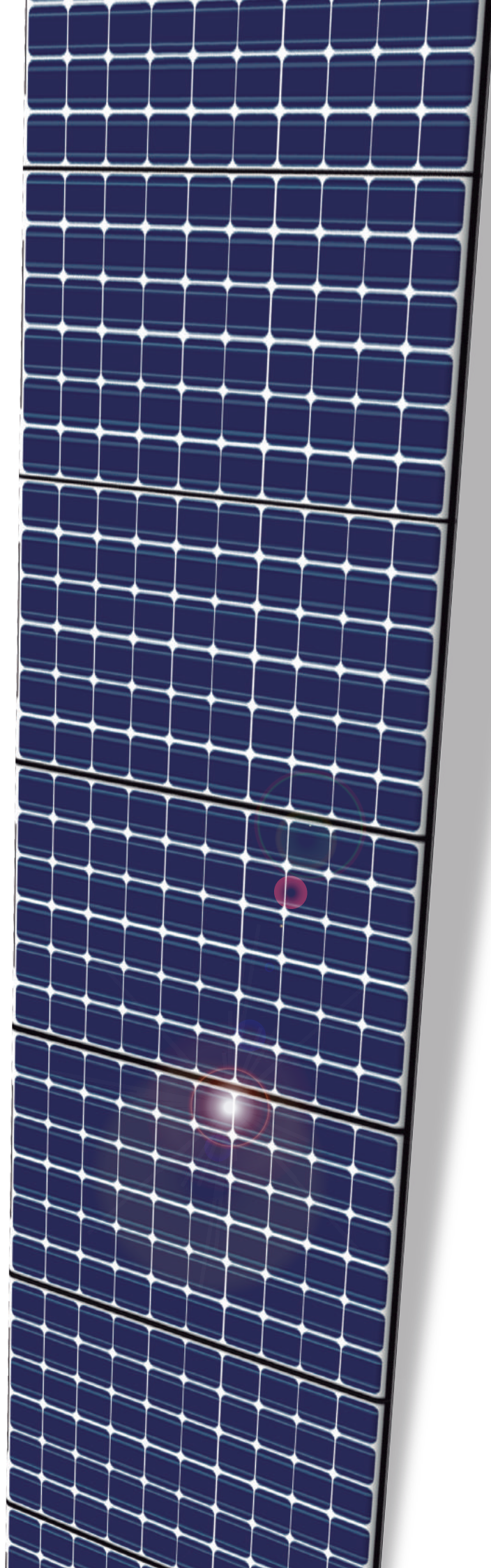
MÁSTER UNIVERSITARIO EN CONSTRUCCIÓN
AVANZADA EN LA EDIFICACIÓN

MÉTODO DE SIMULACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO
DE INSTALACIONES SOLARES A TRAVÉS DEL BIM

ANDRÉS HERRERA LIZARAZO

MÉTODO BIM PARA EL ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

En la siguiente sección se presenta un Manual enfocando en la aplicación de los programas descritos anteriormente, que van a operar bajo la plataforma BIM, para formular un estudio que permita formular una propuesta de una instalación fotovoltaica que supla las necesidades de consumo energético de un edificio ubicado en cualquier parte de la superficie terrestre.



INSTRUCCIONES DEL MANUAL



5

En cada página de este manual se visualizará, en la parte superior izquierda o derecha, el Logo correspondiente al "software" propuesto para cada una de las funciones específicas; como guía en el proceso de ejecución del método planteado por la investigación.

Existen cuatro fases principales en el proceso de ejecución del manual. Le corresponderá a cada una de ellas el ícono de una pila que cambiará de color al estar totalmente cargada, indicando el estado y el avance (de principio a fin) de cada actividad planteada. Cada pila esta acompañada de un número que indica el paso específico para cada una de las actividades planteadas con el fin de no saltar ninguno de ellos.

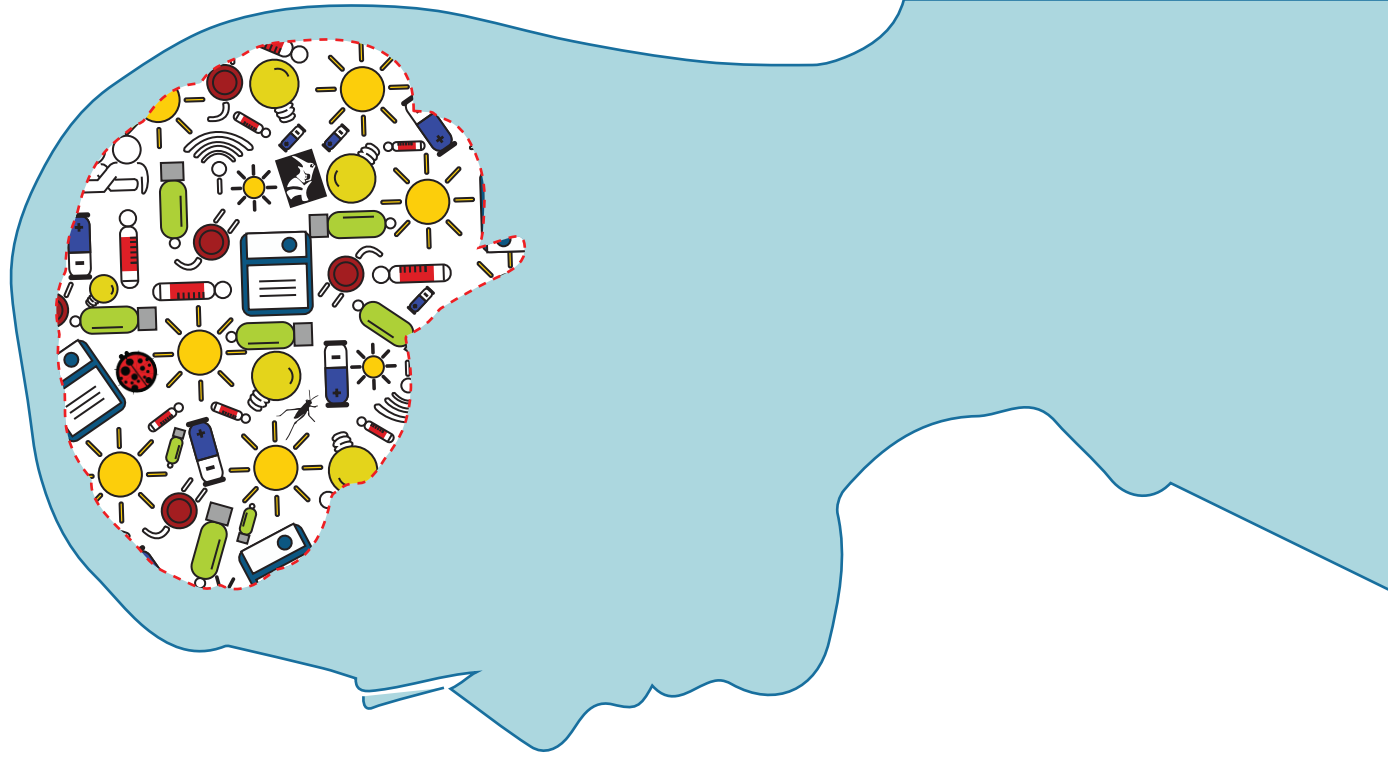
Las banderas color verde indican una conexión directa entre las opciones de análisis de LadyBug, dada por una letra con su correspondiente par. Puesto que en algunas ocasiones dichas opciones pueden estar visualizadas en páginas separadas del manual.



Ícono que indica el click izquierdo del "mouse".



Ícono que indica el click derecho del "mouse".





APROXIMACIÓN AL TERRENO

SketchUp es un programa que permite identificar y caracterizar el lugar donde se ubicará la instalación. SketchUp es un software adquirido por Google cuya base de datos cartográficos y topográficos permiten identificar la morfología de un terreno en cualquier parte del mundo, esto permitiría identificar la incidencia del sol en el lugar.



-Add Location-



Ubicar un punto en el plano terrestre a partir de coordenadas geográficas

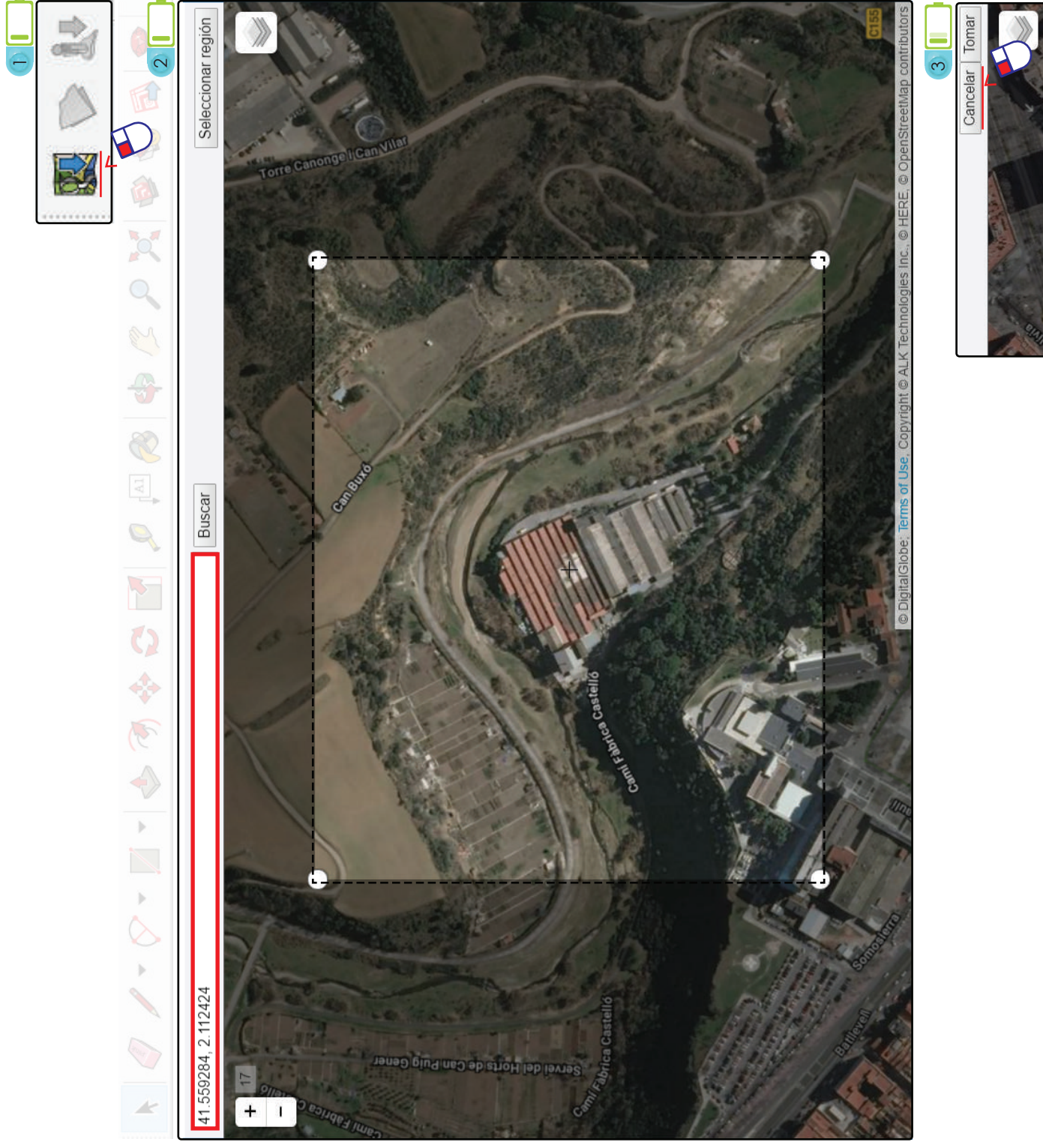
Latitud, Longitud

Delimitar un área específica máxima de 2 Km x 2 Km



Ya delimitada el área oprimir **-Tomar-**.

Automáticamente se proyecta la imagen de la ubicación delimitada





GUARDAR ARCHIVO PARA RHINO

Para exportar el archivo creado a Rhinoceros, es preciso guardarlo en una versión inferior al año del Software al que se va a exportar en este caso (Rhinoceros) con el fin de abrirlo correctamente.

Para ello los siguientes pasos:



En el costado superior izquierdo de la pantalla seleccionar.

_Archivo



_Guardar como

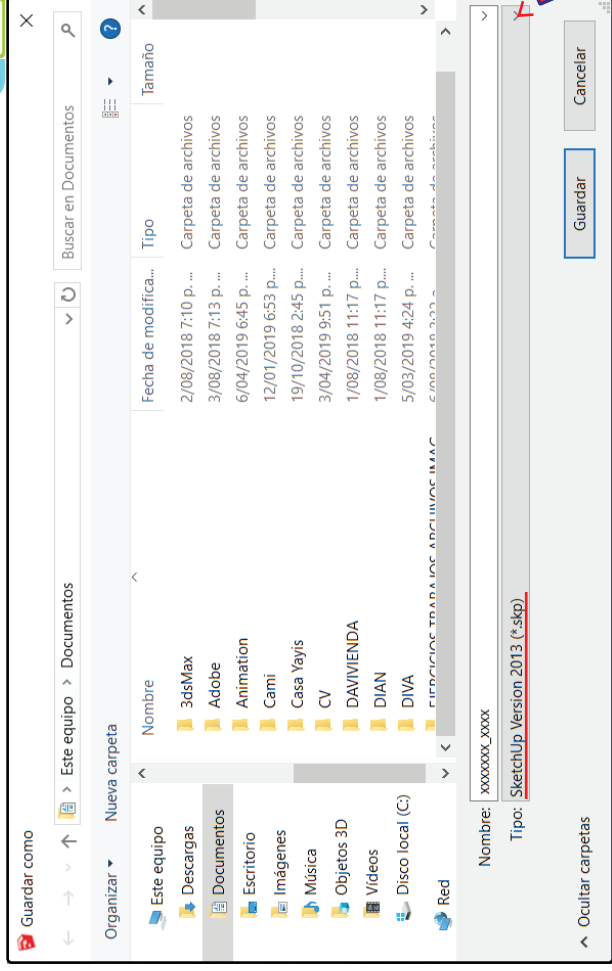


Nombre : Nombrar el archivo

Tip: Es preciso guardar el archivo en una versión correcta para que al exportarlo se pueda abrir sin tener ningún conflicto con el nuevo software.



Archivo Edición Ver Cámara Dibujo Herramientas Ventana Ayuda



IMPORTAR DE SKETCHUP A RHINOCEROS



En el costado superior izquierdo oprimir

_File
_Open

Para abrir el archivo guardado de la carpeta seleccionada.



Al abrirse la opción **_Open**, en el costado inferior derecho de la ventana, identificar el archivo guardado. Elegir el tipo de software en el cual fue guardado el archivo originalmente.

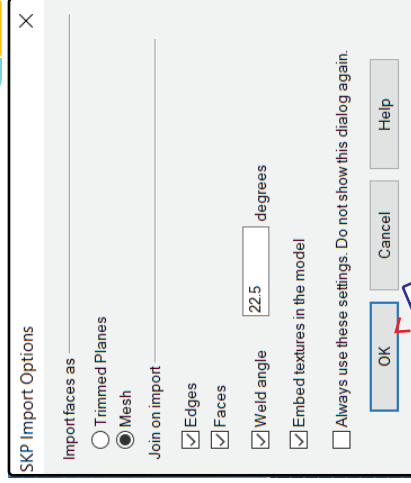
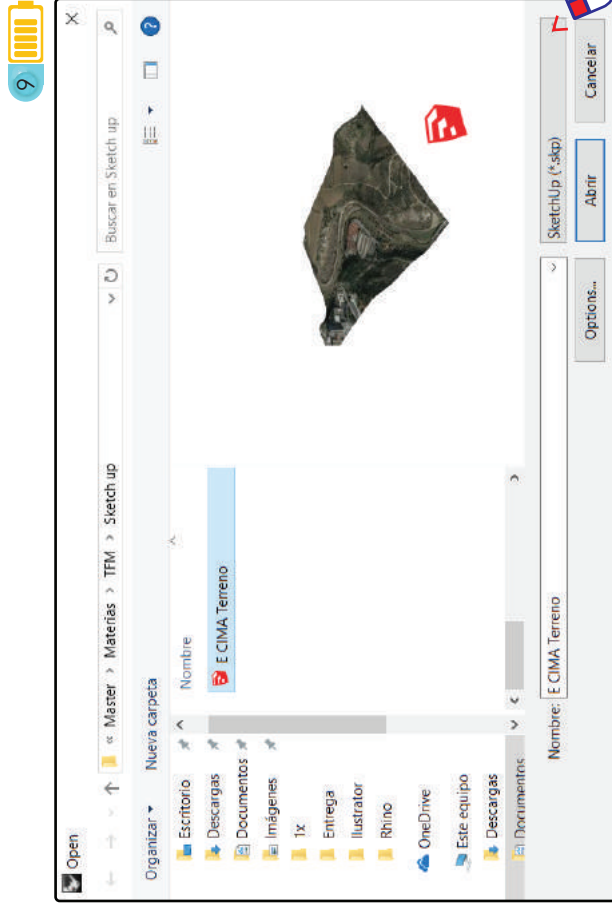
En este caso SketchUp aparecerá nombrado con las siglas

SketchUp (_*.skp)



Automáticamente se va a abrir una ventana con las opciones de importación en cuyo caso están predeterminadas y seleccionadas. Para terminar el proceso oprimir la opción

_OK



OPCIONES DE APLICACIONES EN RHINO (PLUGIN)



1



Grasshopper es una aplicación de Rhinoceros que funciona mediante un lenguaje de programación visual.

La superficie del terreno se puede vincular en grasshopper convirtiéndose en una maya (_Mesh). Para así personalizar

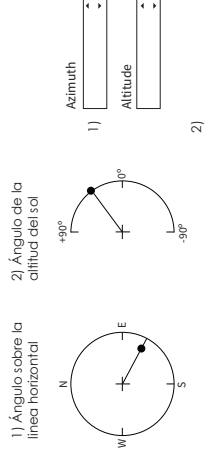
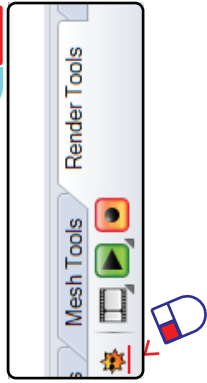
(Para saber mas de las aplicaciones de Grasshopper por utilizadas para el dimensionamiento de una Instalación FV solicita el servicio completo),

2



Mediante el uso de la opción **_Render Tools**, se pueden hacer simulaciones para un estudio de sombras mediante una animación que represente la incidencia de la luz solar en un lugar determinado seleccionando las opciones de visualización.

3



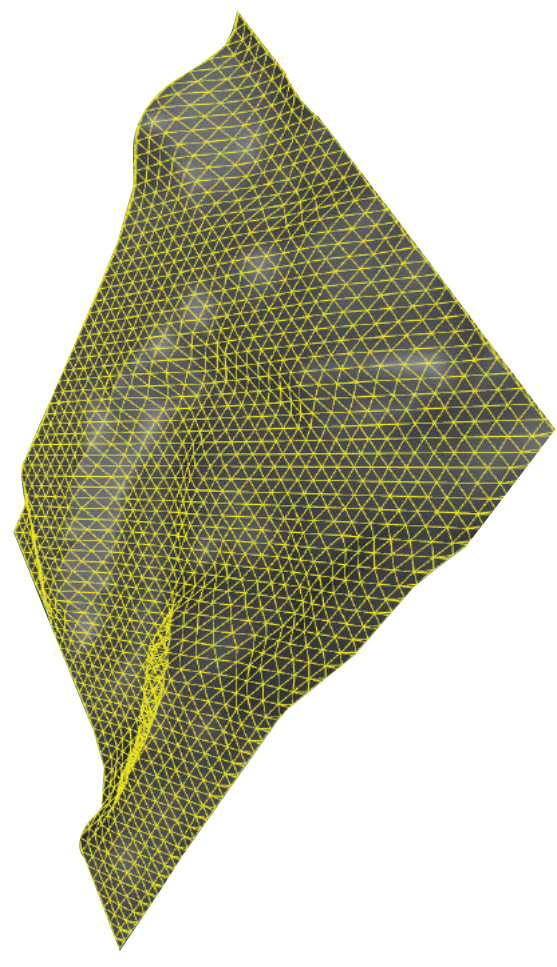
Seleccionar el Mes y la Hora que se quiere analizar

Year: [] Mes: [] Hora: []

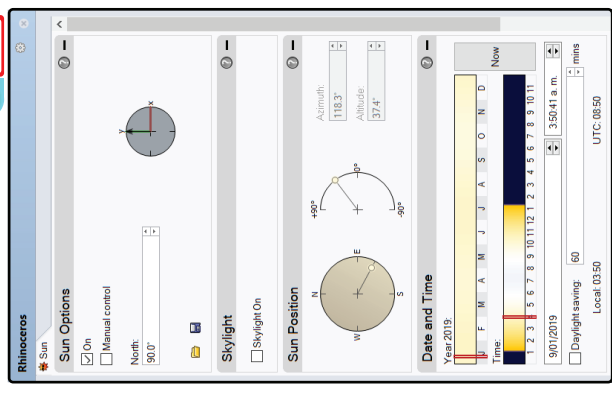
4

Seleccionar la ubicación de un punto sobre la superficie terrestre mediante el uso de coordenadas

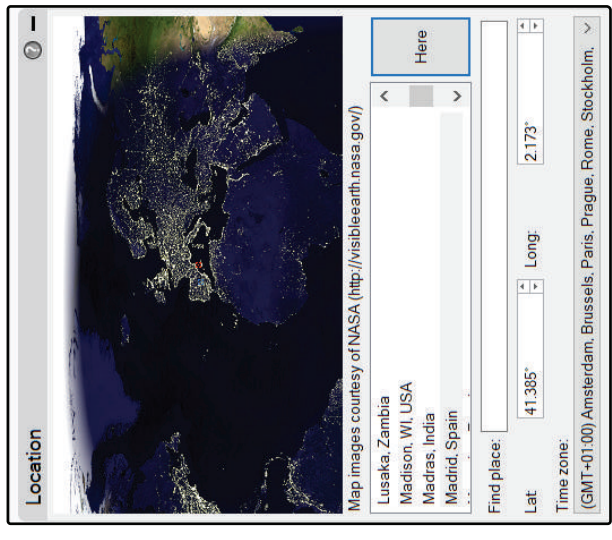
Lat: [] Long: []



3



4





Opcion B

Otra opción de **_Render Tools**, es hacer una simulación para un estudio de sombras usando la opción



One Day Sun Animation
Es la ventana para personalizar la simulación del sol en un lugar determinado
Seleccionar la ubicación de un punto sobre la superficie terrestre mediante el uso de coordenadas

Lat

Lon

Set

Personalizar la simulación, seleccionando fecha y rango de tiempo por el cual va a ser analizado el estudio de sombras.

Date

Start Time

End Time

Fecha

Hora de inicio

Hora final

Localizar un punto sobre el mapa de manera manual.

_ Set

(seleccionar ciudad y país)

Seleccionar Carpeta o Folder en donde guardará la animación.
Por último Correr Animación
RunAnimation=Yes



Location

Map images courtesy of NASA (<http://visibleearth.nasa.gov/>)

Lusaka, Zambia
Madison, WI, USA
Madras, India
Madrid, Spain

Here

Find place:

Lat

Long:

Time zone:

(GMT+01:00) Amsterdam, Brussels, Paris, Prague, Rome, Stockholm.



One Day Sun Animation

Latitude (-90 to 90)

Longitude (-180 to 180)

North angle (clockwise from Y-axis)

Date

Start time

End time

Minutes between frames

File type

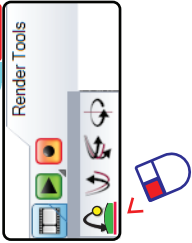
Capture method

Viewport

Animation name

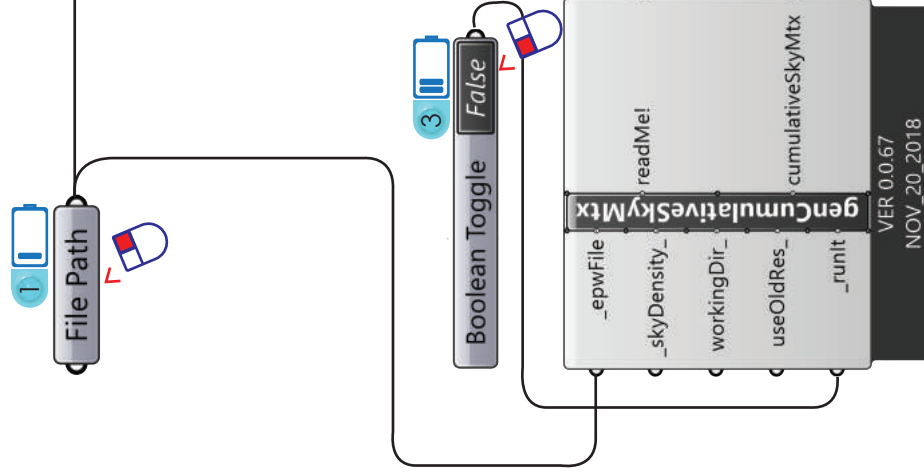
OK

Cancel



(TargetFolder=C:\Users\ASUS\Documents\Animation RunAnimation=No): TargetFolder





_Ladybug_import epw

Es el lector que reconoce la localización GIS que se descarga de la página <https://www.ladybug.tools/epwmap/>. Para terminar de importar la localización con el clic derecho y seleccionar la opción

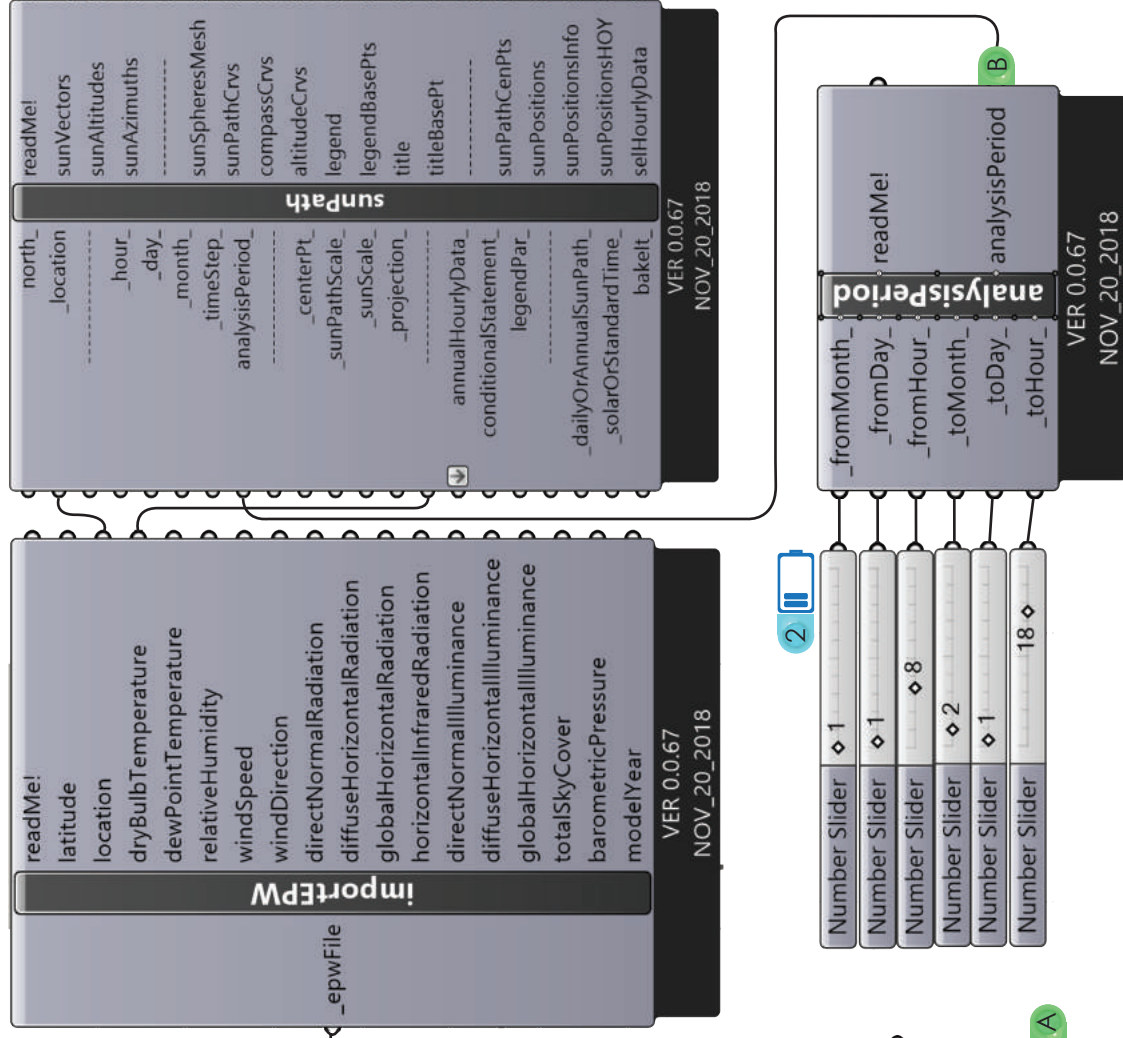
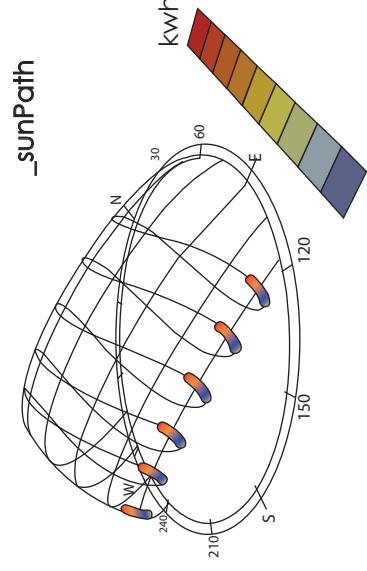
Select one existing file, seleccionar el archivo (.epw) con la localización GIS descargada.

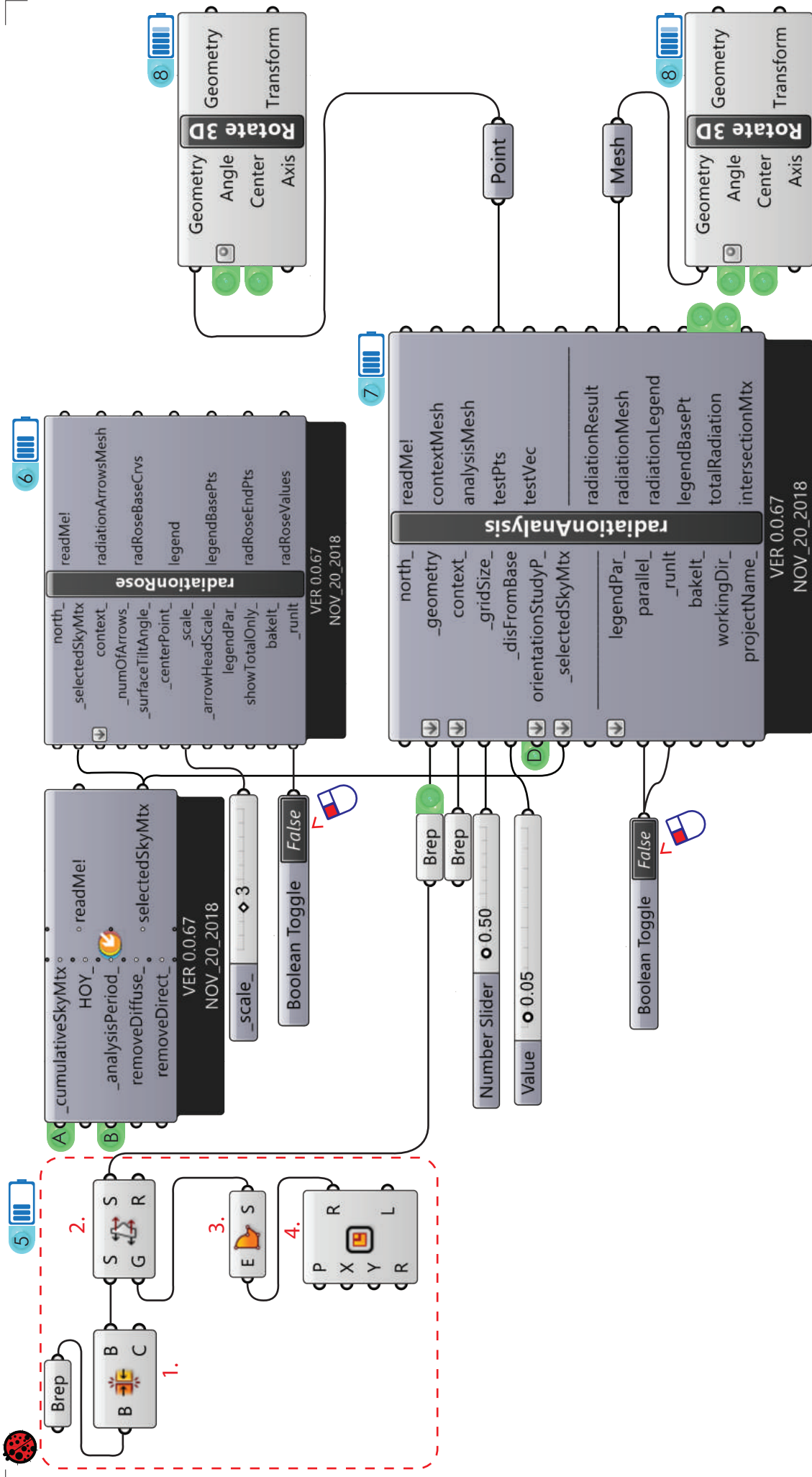


Clic para cambiar la opción de **False** a **True** para empezar a correr la simulación

El **_sunPath**, muestra la posición del sol y la temperatura media (kwh) en un rango de tiempo determinado.

Para definir el rango de tiempo de análisis se requiere conectar un **_Number Slider** para cada una de las opciones del **_analysisPhoraeriod**. Definir rango de: Mes/Día/Hora





1. **_Brep join**
2. **_Flip**
3. **_BoundarySurface**
4. **_Rectangle**

Para que la dirección del análisis de la geometría (módulo fv) sea el correcto

radiationRose es una opción que analiza la irradiación solar sen una ubicación determinada.

- Definir la escala
- Doble clic en la casilla "False" para poner a correr el análisis en cuyo caso la casilla pasaría a llamarse "True"

radiationAnalysis La superficie es escaneada según la cantidad de cuadros por la cual esta quiera ser analizada.

`_gridSize` determina el tamaño de la retícula por la cual va a ser dividida la superficie a analizar.

_disFromBase es la distancia en la que dicha reícula va a estar sobre la superficie analizada.

Conectar la opción

_Rotate 3D Para los casos de **radiationMesh** (malla) y el **tesPts** (punto)

_disFromBase es la distancia en la que dicha reícula va a estar sobre la superficie analizada.



Por último el resultado de la simulación producirá una rotación del módulo FV sobre su propio eje, mostrando la ubicación correspondiente a la orientación óptima en relación con la irradiación óptima para su mayor rendimiento.



Para ello la simulación va a determinar valores sobre la irradiación directa y la difusa, con el fin de encontrar el valor más alto de captación solar.

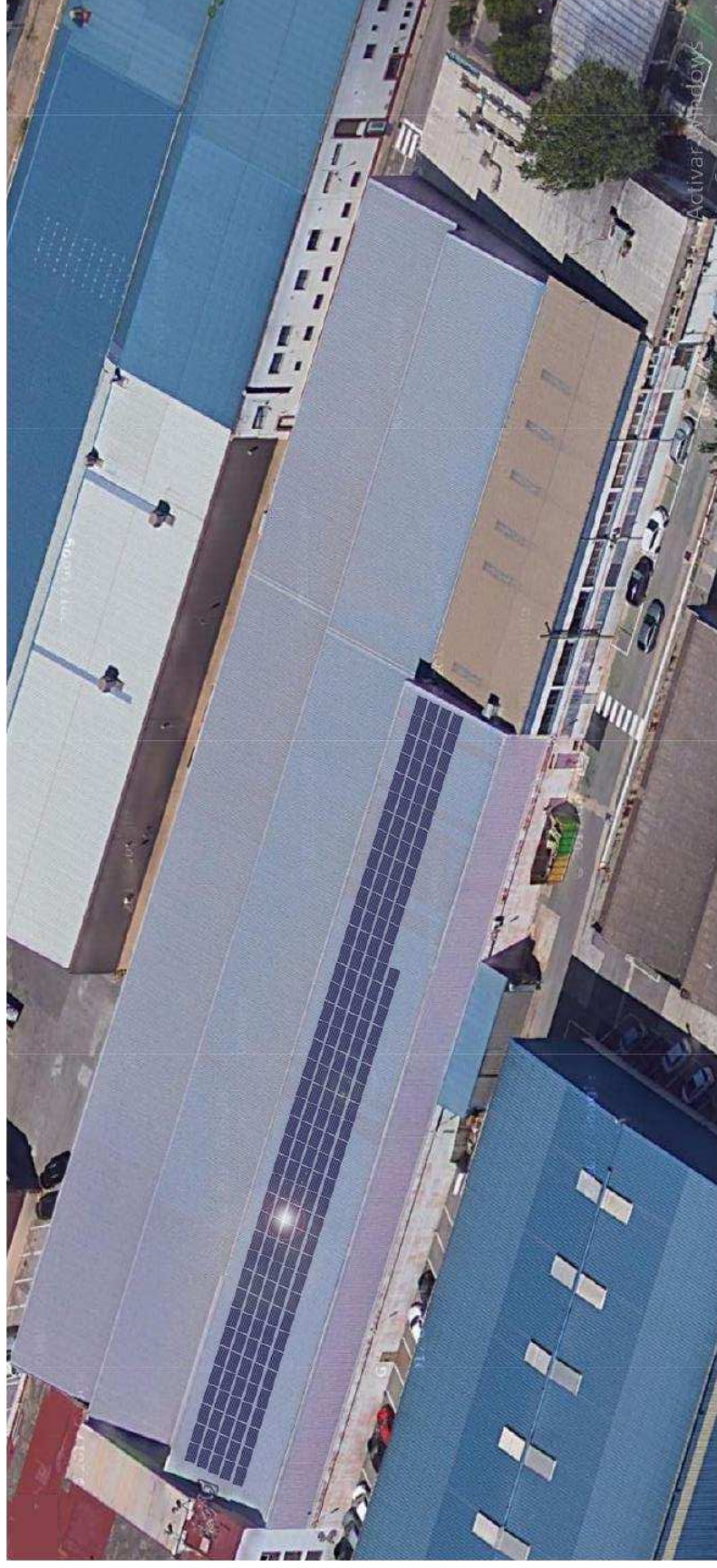
En la siguiente sección se presentará la propuesta de un informe preliminar, basado en el método planeado en esta investigación, utilizando la plataforma BIM para en el estudio energético y propuesta de una Instalación Fotovoltaica de autoconsumo.

El caso de estudio es un edificio existente (fábrica) ubicado en la ZONAFRANCA de Barcelona. Los resultados de la simulación arrojan los valores de irradiación solar captada sobre un área determinada en (kwh/m^2), en la superficie de la cubierta del edificio, con el fin de justificar la producción de energía fotovoltaica, haciendo un dimensionamiento general de la instalación.

1. - DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar una propuesta de implementación de un sistema de generación fotovoltaica conectado a una red industrial ubicada en **ZONA FRANCA BARCELONA**, cuya superficie (cubierta) contendrá los módulos fotovoltaicos en relación a su posición en el eje de coordenadas cartesianas.

La instalación presentada tendrá una potencia pico de 61.7 Kwp, obtenidos mediante la producción de 187 módulos de 330 Wp, en respuesta a la demanda de energía consumida por el edificio. El Código Universal del Punto de Suministro **CUPS** es el número que identifica cada punto de suministro de energía conectada a la red. Estos registros permiten hacer la curva de consumo del edificio mes a mes durante todo un año.





Petroniebes Energía I, S.L.
NIF B65940322
Calle Tres Rieres SN
08292 ESPARREGUERA

2. - INDICADORES DE CONSUMO



AVERÍAS: 800760706

DATOS DE LA FACTURA

Nº FACTURA: 14098550
FECHA FACTURA: 12 de marzo de 2019
PERIODO FACTURACIÓN: Del 31/01/2019 al 28/02/2019
TOTAL FACTURA: **6.915,65 Euros**
FORMA DE PAGO: BANC
ENTIDAD BANCARIA: B.S.C.H.
Nº DE CUENTA: 0049183224251014****
PLAZO DE PAGO: 12/03/2019

NOMBRE DEL CLIENTE
DIRECCIÓN DE SUMINISTRO

08840 VILADECANS
XXXX Código Postal



9050765940322000000065270012031900006915650

DATOS DEL TITULAR

TITULAR: SYSEAM, S.A.
DIR. SUMINISTRO: AGRICULTURA, 29, F
POBLACIÓN: 08840 VILADECANS
DNI/CIF: A08950669
TARIFA: 3.0A ML

Nº Cliente: 6527 Vencimiento del contrato : 24/01/2020
Nº Contador: 009950718 Telegestión no operativa
CUPS: ES0031406375425001CQ0F
POTENCIA: P1 180,000 P2 180,000 P3 180,000 P4 P5 P6

ENERGÍA DISFRUTADA

Cálculo	Importe (€)
Término de Potencia	
Punta 161.000 KW x 28 Días x 0,111586 €	503,03
Llano 189.000 KW x 28 Días x 0,066951 €	354,30
Valle 175.000 KW x 28 Días x 0,044634 €	218,71
Término de Energía	
Punta 8.837 kWh x 0,112770 €	996,55
Llano 29.013 kWh x 0,094130 €	2.730,99
Valle 8.077 kWh x 0,073920 €	597,05
Término de Reactiva	
Impuesto Electricidad	276,12
Importe alquiler	38,66



ALTERNATIVA

OPCIONES PARA EL FUTURO



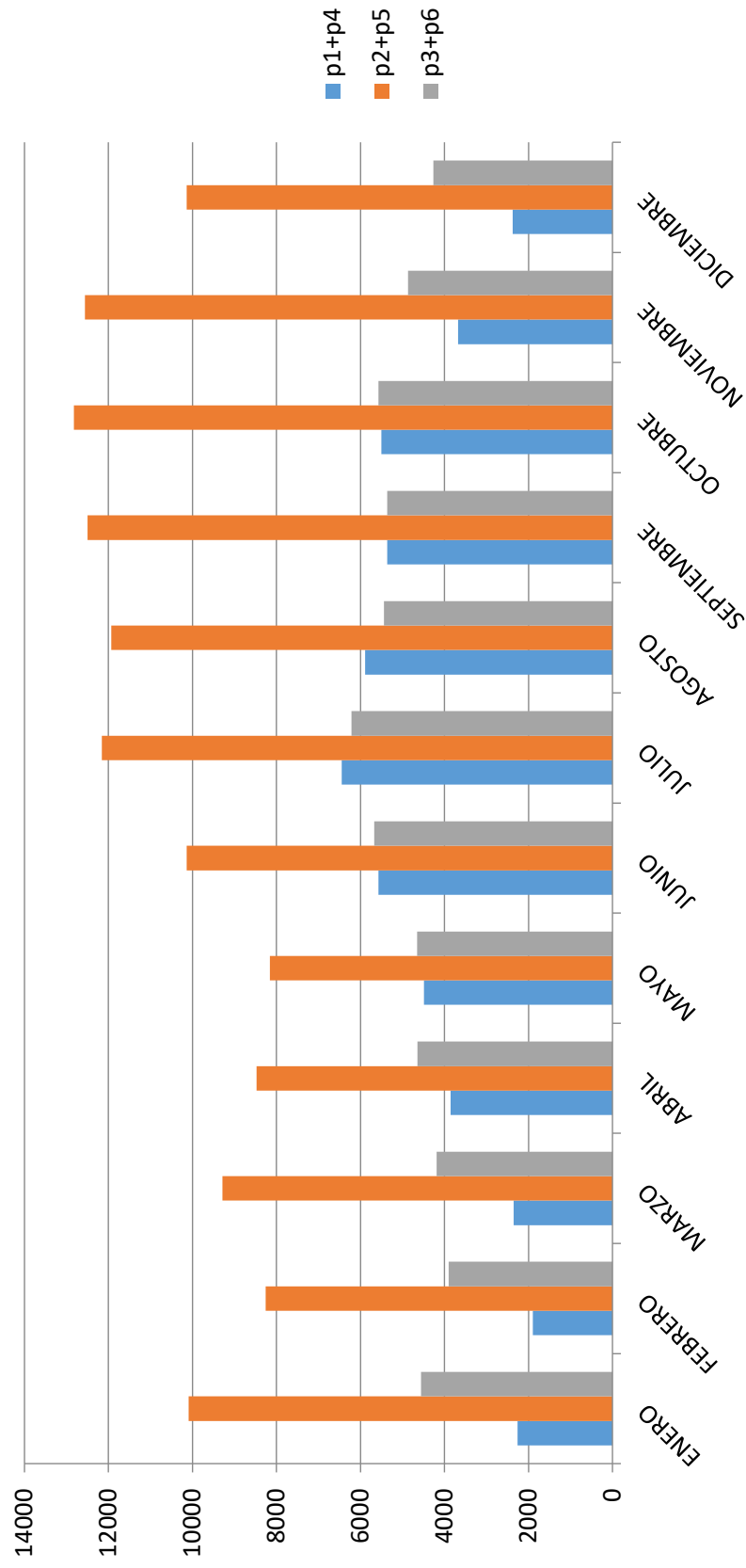
Término de Energía

Punta 8.837 kWh x 0,112770 €
Llano 29.013 kWh x 0,094130 €
Valle 8.077 kWh x 0,073920 €

Se obtienen los valores de cada período de consumo siendo unos meses más significativos que otros, luego se multiplican por el precio del kWh tarifado, datos esenciales para hacer el estudio financiero del proyecto

AÑO 2018/19	P1+P4 (A)	P2+P5 (B)	P3+P6	CONSUMO		COSTE MENSUAL	
				MENSUAL	€KW	A+B	A+B
ENERO	2259	10091	4557	16907	1774,17	12350	12350
FEBRERO	1896	8254	3901	14051	1472,06	10150	10150
MARZO	2352	9286	4183	15821	1665,39	11638	11638
ABRIL	3855	8470	4644	16969	1800,94	12325	12325
MAYO	4484	8151	4651	17286	1844,13	12635	12635
JUNIO	5574	10137	5672	21383	2283,50	15711	15711
JULIO	6448	12154	6209	24811	2658,02	18602	18602
AGOSTO	5887	11930	5436	23253	2497,92	17817	17817
SEPTIEMBRE	5365	12492	5361	23218	2488,64	17857	17857
OCTUBRE	5500	12817	5570	23887	2558,80	18317	18317
NOVIEMBRE	3676	12558	4865	21099	2245,12	16234	16234
DICIEMBRE	2378	10137	4266	16781	1768,83	12515	12515
TOTAL	49674	126477	59315	235466	25057,51	176151	176151

Los costes considerados para cada período de consumo son los relativos al año 2018/19, por tratarse de las facturas más recientes en el tiempo. La energía solar consigue reducir el coste relativo a la energía (kWh consumidos de la red) manteniendo el coste del término de potencia fijo.



La gráfica, presenta las cantidades respectivas de consumo anual que se tiene de los distintos períodos de consumo en este caso del P1 hasta el P6, de la factura, los periodos que se tienen en cuenta para la instalación son el P1, P2, P4, P5. Esos mismos periodos corresponden a las tarifas de consumo mas representativas en las horas en que el edificio consume mas energía eléctrica debido a la puesta en marcha de los equipos que operan durante las horas de trabajo. Principalmente en horas de la mañana y de las tardes



La fábrica xxxxxxxxxxxx cuenta con una superficie óptima que presenta una pendiente de 20º en cuyo caso la instalación fotovoltaica iría coplanada, lo que quiere decir es que los módulos irían a estar apoyados con la misma pendiente de la cubierta sin tener que ser alterada. La instalación fotovoltaica al ser coplanada, no presenta ninguna sombra que incida con el rendimiento de los módulos

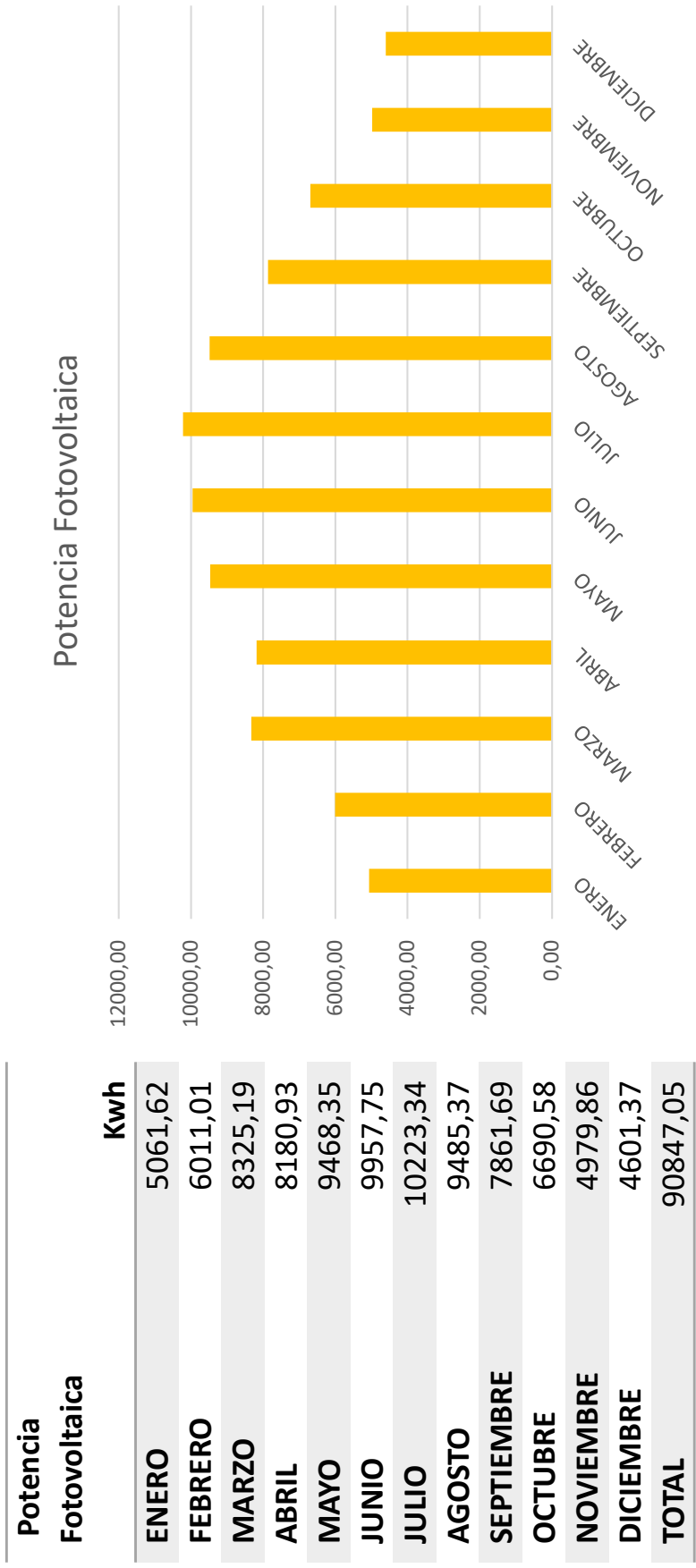
Area útil estimada: 1044.16 m²

Primero estimado: 181.756m



3. – PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA

Las siguientes figuras muestran la producción estimada de energía fotovoltaica de la instalación planteada, en el transcurso del un año, para comprarla posteriormente con el consumo del edificio.



POTENCIA FOTOVOLTAICA ANNUAL: 90,84Mwh



4. – RESULTADOS COMPARADOS

La siguiente gráfica indica la producción de energía fotovoltaica de la instalación planteada operando en el transcurso de un año, en comparación con el consumo del edificio en el último año facturado.

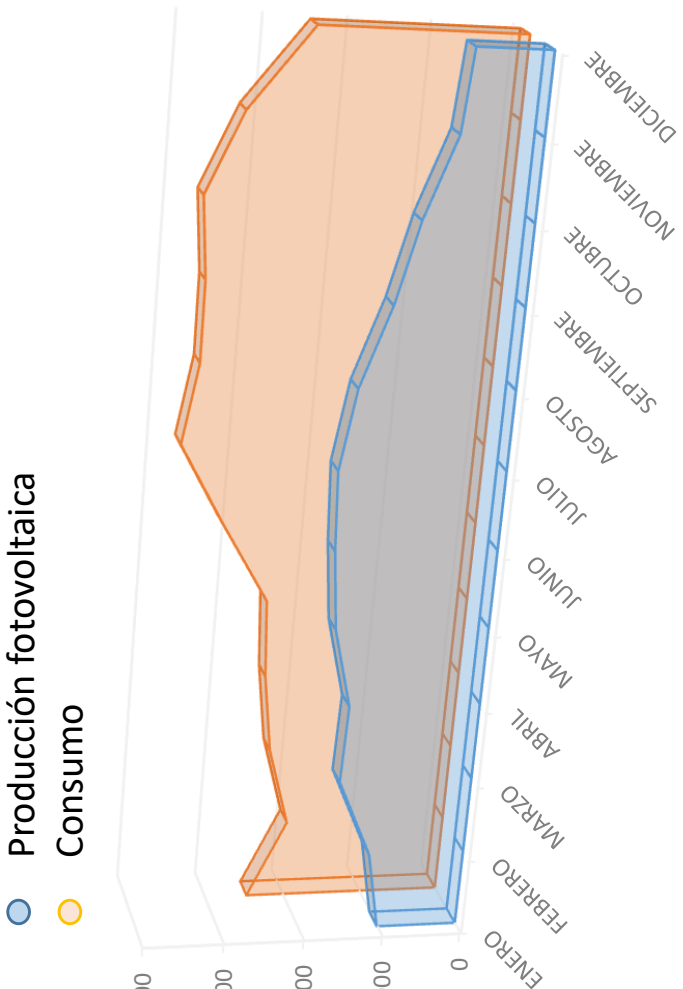
Los resultados en % indican el ahorro de energía de la instalación fotovoltaica de 61,7 Kwp, con respecto a la demanda energética del edificio

INSTALACIÓN 1	CONSUMO (Kwh)	POTENCIA FOTOVOLTAICA (Kwh)	DIFERENCIA	% PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA CON RESPECTO AL CONSUMO
ENERO	12350	5061,62	7288,38	40,98%
FEBRERO	10150	6011,01	4138,99	59,22%
MARZO	11638	8325,19	3312,81	71,53%
ABRIL	12325	8180,93	4144,07	66,38%
MAYO	12635	9468,35	3166,65	74,94%
JUNIO	15711	9957,75	5753,25	63,38%
JULIO	18602	10223,34	8378,66	54,96%
AGOSTO	17817	9485,37	8331,63	53,24%
SEPTIEMBRE	17857	7861,69	9995,31	44,03%
OCTUBRE	18317	6690,58	11626,42	36,53%
NOVIEMBRE	16234	4979,86	11254,14	30,68%
DICIEMBRE	12515	4601,37	7913,63	36,77%
PROMEDIO ANUAL				52,72%



5. – AHORRO ECONÓMICO ESTIMADO

INSTALACIÓN 1	CONSUMO (Kwh)	POTENCIA FOTOVOLTAICA (Kwh)	
ENERO	12350	5061,62	40,98%
FEBRERO	10150	6011,01	59,22%
MARZO	11638	8325,19	71,53%
ABRIL	12325	8180,93	66,38%
MAYO	12635	9468,35	74,94%
JUNIO	15711	9957,75	63,38%
JULIO	18602	10223,34	54,96%
AGOSTO	17817	9485,37	53,24%
SEPTIEMBRE	17857	7861,69	44,03%
OCTUBRE	18317	6690,58	36,53%
NOVIEMBRE	16234	4979,86	30,68%
DICIEMBRE	12515	4601,37	36,77%
AHORRO ANUAL ESTIMADO			52,72%



Las figuras muestran el porcentaje de ahorro estimado del consumo facturado en el transcurso de un año, con la implementación de energía fotovoltaica en el edificio.

AHORRO ANUAL ESTIMADO 52,72% €

6. – ANÁLISIS AMBIENTAL



Se estima que el CO2 es el principal gas de efecto invernadero (60%-85% del impacto total), siendo los combustibles fósiles los principales causantes de su emisión.

La energía solar es una alternativa fiable y duradera que es cada vez mas tenida en cuenta, para un futuro ambiental con bajas emisiones de carbono en la atmosfera. Una mayor adopción de este recurso energético ayuda a mitigar el cambio climático y la vez permite estimular las economías, en dirección al cuidado del planeta.

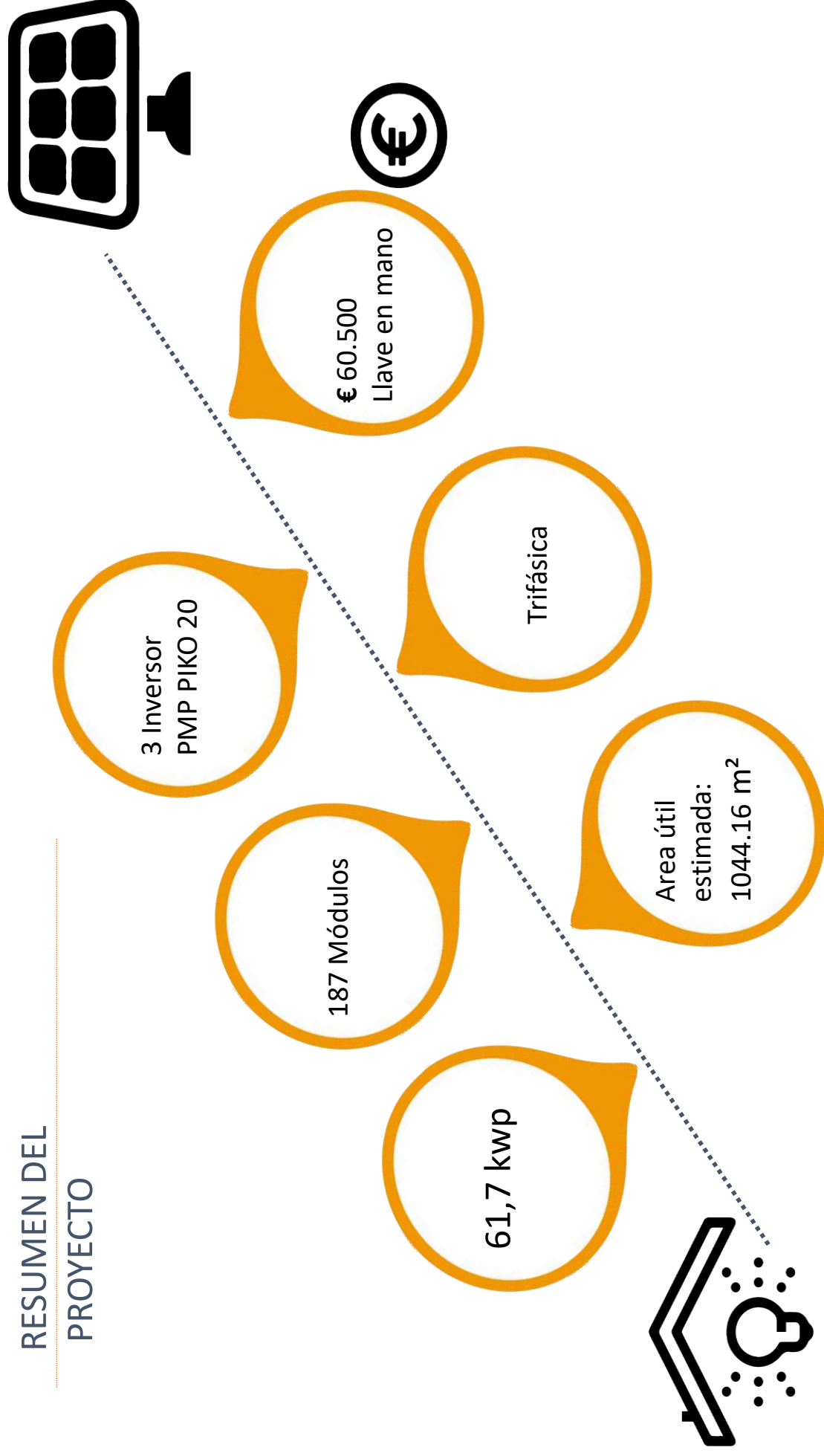
Con la instalación fotovoltaica propuesta, se evitan las emisiones que se producirían con el método de suministro de energía convencional, a través de la red eléctrica. A continuación, se presenta la estimación de lo que se evitaría en emisiones resultantes de la producción eléctrica mediante la implementación de un sistema de generación fotovoltaica de 61kwp .



	ENERGÍA GENERADA kWh	EMISIONES AHORRADAS Tn CO2
ENERO	5062	1,57
FEBRERO	6011	1,86
MARZO	8325	2,58
ABRIL	8181	2,54
MAYO	9468	2,94
JUNIO	9958	3,09
JULIO	10223	3,17
AGOSTO	9485	2,94
SEPTIEMBRE	7862	2,44
OCTUBRE	6691	2,07
NOVIEMBRE	4980	1,54
DICIEMBRE	4601	1,43
TOTAL	90847	28,16

RESUMEN DEL

PROYECTO



Se propone una instalación fotovoltaica de autoconsumo, trifásica compuesta por 187 módulos A-330P con tres inversores KOSTAL PIKO de 20 kw con una entrada de tensión nominal de 680V para un coste total de € 60.500

ANEXOS



PMP PIKO 20

Clase de potencia		12	15	17	20
Potencia fotovoltaica máx. η (cos $\varphi = 1$)	kWp	18	22,5	25,5	30
Potencia CC nominal	kW	12,3	15,3	17,4	20,4
Tensión de entrada nominal (U _{CC})	V	680			
Tensión de entrada de inicio (U _{CCinici})	V	180			
Rango de tensión de entrada (U _{CCmín.} - U _{CCmáx.})	V	160...1000			
Rango PMP con potencia nominal en el modo de un seguidor (U _{PMPmín.} - U _{PMPmáx.})	V	626...800	-	-	-
Rango PMP con potencia nominal en el modo de dos seguidores (U _{PMPmín.} - U _{PMPmáx.})	V	sim: 345/345...800 asim: 490/250...800	390...800	440...800	515...800
Rango PMP con potencia nominal en el modo de tres seguidores (U _{PMPmín.} - U _{PMPmáx.})	V	-	sim: 260/260...800 asim: 325/325/250...800	sim: 290/290/250...800 asim: 375/375/250...800	sim: 345/345/245...800 asim: 450/450/450...800
Rango de tensión de trabajo PMP (U _{PMPtrabmín.} - U _{PMPtrabmáx.})	V	180...800			
Tensión de trabajo máx. (U _{CCtrabmáx.})	V	800			
Corriente de entrada máx. (I _{CCmáx.}) por entrada CC		sim: 18/18 asim: 20/10	sim: 20/20/20 asim: 20/20/10		
Corriente de entrada máx. con conexión en paralelo (entrada DC1+DC2 / DC3)	A	36/-	40/20		
Corriente de cortocircuito FV máx. (I _{SCPV}) por entrada CC	A	-	-	-	-
Número de entradas CC		2	3		
Número de seguidores PMP indep.		2	3		
Potencia nominal, cos $\varphi = 1$ (P _{CCr})	kW	12	15	17	20
Potencia aparente de salida máx., cos φ_{sa}	kVA	12	15	17	20
Tensión de salida mín. (U _{CCmín.})	V	184			
Tensión de salida máx. (U _{CCmáx.})	V	264,5			
Corriente de salida asignada (I _{CCr})	A	17,4	21,7	24,6	29,0
Corriente de salida máx. (I _{CCmáx.})	A	19,3	24,2	27,4	32,2
Corriente de cortocircuito (Peak/RMS)	A	27,4/16,7	42/28,5	41,3/29	51/36,5
Conexión de red		3N~, 400 V, 50 Hz			
Frecuencia de referencia (f _r)	Hz	50			
Frecuencia de red mín./máx. (f _{mín./f máx.})	Hz	47/51,5			
Margen de ajuste del factor de potencia (cos φ_{CCr})		0,8...1...0,8			
Factor de potencia con potencia nominal (cos φ_{CCr})		1			
Coeeficiente de distorsión armónico máx.	%	3			
Espera (consumo durante la noche)	W	1,8			
Coeeficiente de rendimiento máx.	%	97,7	98,0	98,0	98,0
Coeeficiente europeo de rendimiento	%	97,1	97,2	97,3	97,3
Coeeficiente de rendimiento de adaptación PMP	%	99,9	99,9	99,9	99,9



PMP PIKO 20

Clase de potencia				12	15	17	20
Topología: sin aislamiento galvánico –sin transformador				H			
Tipo de protección según IEC 60529 (carcasa/ventilador)				IP 65/IP 55			
Categoría de protección según IEC 62103				I			
Categoría de sobretensión según IEC 60664-1 lado de entrada (generador fotovoltaico)				II			
Categoría de sobretensión según IEC 60664-1 lado de salida (conexión de red)				III			
Grado de contaminación				4			
Categoría medioambiental (montaje a la intemperie)				H			
Categoría medioambiental (montaje en interior)				H			
Resistencia UV				H			
Diámetro del cable CA (mín-máx)				mm			
Sección del cable CA (mín-máx)				mm²			
Sección del cable CC (mín-máx)				mm²			
Fusible máx. lado de salida				4...6		6...16	
Protección para las personas interna según EN 62109-2				B32/C32		B40/C40	
Dispositivo de desconexión autónomo según VDE 0126-1-1				RCCB tipo B			
Altura/anchura/profundidad				H			
Peso				445/580/248 (17.52/22.83/9.76)		540/700/265 (21.26/27.56/10.43)	
Principio de refrigeración – ventilador regulado				37,5 (82.67)		48,5 (106.9)	
Volumen de aire máx.				m³/h		H	
Nivel de emisión sonora máx.				2 x 48		2 x 84	
Temperatura ambiente				44		56	
Altura de montaje máx. sobre el nivel del mar				-20...60 (-4...140)		2000 (6562)	
Humedad relativa del aire				%		4...100	
Técnica de conexión en el lado CC				Conector SUNCLIX			
Técnica de conexión en el lado CA				Regleta de bornes con mecanismo de resorte			
Ethernet LAN (RJ45)				2			
RS485				1			
S0				1			
Entradas analógicas				1			
Contacto libre de potencia para control de autoconsumo				1			
Interfaz PIKO BA Sensor				1			
Webserver (interfaz de usuario)				H			
Garantía				Años		5	
Ampliación de la garantía opcional en (años)				5/10/15			
Directivas/Certificación ^a				CE, GS, EN 62109-1, EN 62109-2, EN 60529, IEC 61683, CEI 0-21, EN 50438*, GB3/2, IEC 61727, IEC 62116, RD 1699, TOR D4, UNE 206006 IN, UNE 206007-1 IN, UNE 217001 IN, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105			



Módulo fotovoltaico

A-320P / A-325P / A-330P (TY 3.2)



+ UltraTolerancia positiva

Positiva 0 / +5 Wp

+ UltraCalidad

Anti Hot-Spot

+ UltraGarantía

10 años de garantía de producto

+ UltraFiabilidad

En el mercado desde 1979

+ UltraResistencia

Cristal templado de 3.2 mm

+ UltraTES

Verificación eléctrica célula a célula



Sistema único
en el mercado,
patentado por
Atersa.





Características eléctricas (STC: 1kW/m², 25°C±2°C y AM 1,5)*

A-320P A-325P A-330P

Potencia Nominal (0/+5 W)	320 W	325 W	330 W
Eficiencia del módulo	16,45%	16,71%	16,96%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	8,51 A	8,58 A	8,65 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	37,61 V	37,88 V	38,15 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,93 A	8,98 A	9,05 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	46,49 V	46,68 V	46,85 V

Parámetros térmicos

Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	0,04% /°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32% /°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Características físicas

Dimensiones (mm ± 2 mm)	1965x990x40
Peso (± 0,5 kg)	22,5
area (m²)	1,95
Tipo de célula (± 1 mm.)	Policristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Células en serie	72 (6x12)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3,2 mm
Marco	Aleación de aluminio anodizado o pintado en poliéster
Caja de conexiones / Opcional	TYCO IP67
Cables	Cable Solar 4 mm² 1200 mm
Conectores	TYCO PV4